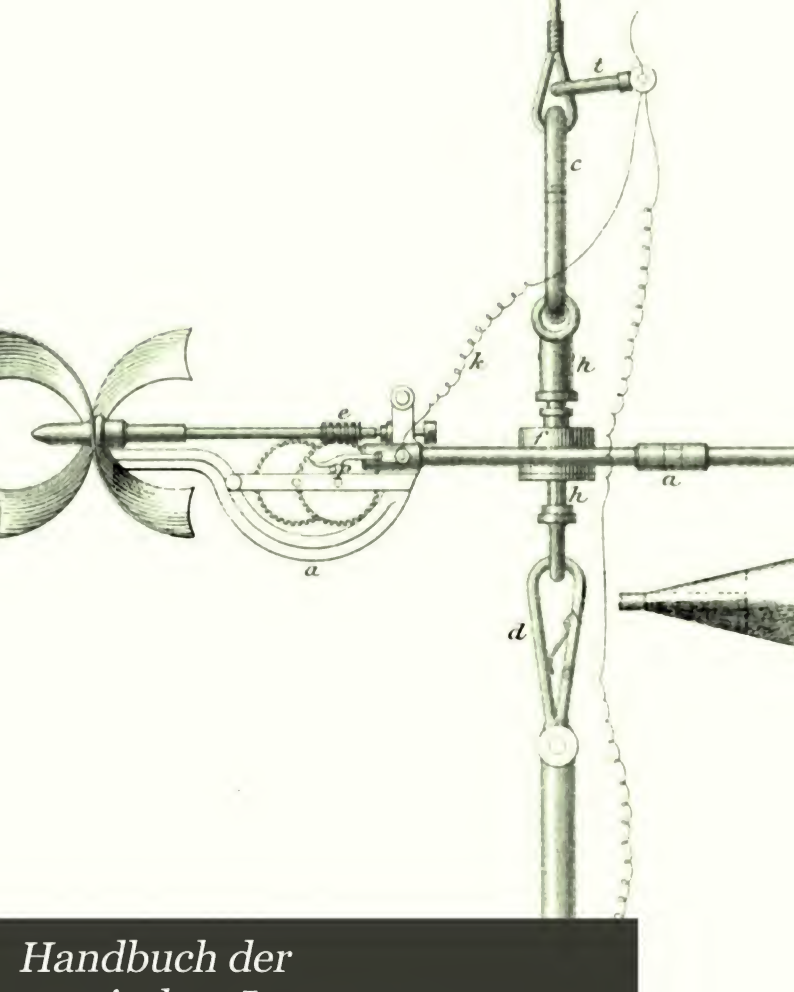


Handbuch der nautischen Instrumente

Germany. Kriegsmarine. Oberkommando. Nautische Abteilung, Germany. Reichs – Marine – Amt. Hydrographisches Amt, ...



HANDBUCH

DER

NAUTISCHEN INSTRUMENTE.

HYDROGRAPHISCHES AMT

DES

REICHS-MARINE-AMTS.



ZWEITE AUFLAGE.

MIT 33 TAFELN IN STEINDRUCK UND 171 HOLZSCHNITTEN IM TEXT.

BERLIN 1890.

Ernst Siegfried Mittler und Sohn

KÖNIGLICHE HOFBUCHHANDLUNG

KOCHSTRASSE 68—70.

Vorwort zur ersten Auflage.

In diesem Handbuch ist eine Anzahl Instrumente und Apparate beschrieben, welche für Zwecke der Navigation und der maritimen Meteorologie, für physikalische Untersuchungen des Meeres und für gelegentliche Küstenaufnahmen gebräuchlich sind.

Von einer erschöpfenden Gliederung des — ohnehin nicht scharf zu begrenzenden — Begriffs Nautische Instrumente ist abgesehen, vielmehr die Sammlung in erster Linie dem praktischen Bedürfniss der Kaiserlichen Marine angepasst.

Die ausschliesslich am Lande zu benutzenden meteorologischen und Mess-Instrumente sind in solchem Umfange berücksichtigt, wie dieselben bei vorübergehendem Aufenthalt an fremden Küstenpunkten etwa Verwendung finden können.

Ein Anhang, gelegentliche Vermessungen behandelnd, ergänzt die vorangehenden Abschnitte durch Hervorhebung eigenartiger Verhältnisse, in welchen eine Anzahl der beschriebenen Instrumente vielseitige Anwendung findet.

Vorwort zur zweiten Auflage.

In der zweiten Auflage dieses Werkes haben verschiedene Instrumente und Apparate Aufnahme gefunden, welche in neuerer Zeit in die Kaiserliche Marine eingeführt worden sind.

Der Fahrtmesser von Strangmeyer konnte aus besonderen Gründen nicht mehr im III. Abschnitt „Apparate und Instrumente für oceanische Beobachtungen“ unter der Gruppe „Geschwindigkeitsmesser“ gebracht werden und ist als Nachtrag am Schluss des VI. Abschnittes beschrieben.

Der Text der ersten Auflage ist einer genauen Durchsicht unterzogen; die Tafeln sind um sechs und die Holzschnitte um einen vermehrt.

Berlin, den 1. März 1890.

Inhalts-Verzeichniss.

Erster Abschnitt.

Fernrohre und Hülfsinstrumente.

I. Fernrohre.

Seite

§ 1. Das Grundgesetz der Dioptrik 1
§ 2. Das astronomische Fernrohr 4
1. Die Vergrösserung 5
2. Die Helligkeit 7
3. Das Gesichtsfeld 8
4. Die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes 9
a) Aplanatische Linsen 10
b) Achromatische Linsen 11
5. Das Objektiv 12
6. Das Okular 13
a) Das Huyghensche Okular 13
b) Das Ramsdensche Okular 14
7. Die äquivalenten Linsen 14
8. Das Fadenkreuz 16
9. Das Fadennetz 18
§ 3. Das terrestrische Fernrohr 19
§ 4. Das Galileische Fernrohr 19
§ 5. Die Prüfung der Fernrohre 21
1. Untersuchung der achromatischen Güte des Glases 21
2. Die Korrektion der sphärischen Abweichung 21
3. Die Centrirung der Gläser 22
4. Bestimmung der Vergrösserung 22
5. Die Bestimmung des Gesichtsfeldes 23
§ 6. Vergleich der optischen Eigenschaften der astronomischen und Galileischen Fernrohre 23
§ 7. Bemerkungen zur Behandlung der Fernrohre beim Gebrauch 25
§ 8. Diopter 26

II. Ablesevorrichtungen.

§ 9. Die Lupe 27
§ 10. Der Nonius 28
1. Prüfung des Nonius 29
2. Nachtragender Nonius 30
§ 11. Mikroskopische Ablesung 30
1. Beschreibung 31
2. Die Ablesung 32
3. Ablesung vorwärs und rückwärts 33

III. Horizontirvorrichtungen.

Seite
§ 12. Das Niveau (Libelle) 35
1. Die Dosenlibelle 35
2. Die Röhrenlibelle 36
a) Die Reichelsche Libelle 36
b) Die Bambergsche Libelle 37
§ 13. Messung der Neigung mit Hülfe der Libelle 38

IV. Verschiedene Hülfsinstrumente.

§ 14. Künstliche Horizonte 41
1. Troghorizont 42
2. Dosenhorizont 43
3. Glashorizont 44
§ 15. Heliotrope 44
1. Das Steinheilsche Heliotrop 44
2. Das Bertramsche Heliotrop 46
3. Der Sextant als Heliotrop 46
§ 16. Die Peilscheibe für Abstandsbestimmungen 47

Zweiter Abschnitt.

Meteorologische Instrumente.

I. Das Barometer.

§ 17. Allgemeines 50
§ 18. Die Temperaturkorrektion 51
§ 19. Die Kapillaritätskorrektion 52
§ 20. Verschiedene Konstruktionen von Barometern 53
1. Das Heberbarometer 53
2. Barometer mit einfacher Ablesung 54
a) Kapacitätskorrektion 54
b) Bewegbarer Boden (Fortinsches Barometer) 55
c) Reducirte Skala (Marinebarometer) 55
§ 21. Das Gefässheberbarometer von R. Fuess 56
Instruktion über die Zusammensetzung des Gefässheberbarometers . 58
§ 22. Das Fortinsche Reisebarometer 59
§ 23. Das Marinebarometer (Kew-Modell) 61
§ 24. Die Vergleichung der Barometer 63
§ 25. Aneroid- und Metallbarometer 64
Das Baromètre holostérique von Naudet 64
Das Metallbarometer von Bourdon 65
§ 26. Die Korrektion der Aneroid-Ablesungen 66
§ 27. Genauere Feststellung der Konstanten 67
§ 28. Prüfungsresultate von Aneroidbarometern (System Naudet) 71
§ 29. Aneroidbarometer, für Höhenmessung konstruirt 71
1. Das kompensirte Aneroidbarometer (System Naudet) 71
2. Das Aneroidbarometer mit Mikrometerschraube (System Goldschmid) 72
§ 30. Die Schwere-Korrektion 74
§ 31. Das Thermobarometer (Hypsometer) 75
§ 32. Barometrische Höhenmessung 76
§ 33. Interpolationsmethoden bei den barometrischen Höhenmessungen . . . 78

II. Thermometer.

Seite

§ 34. Allgemeines 81
§ 35. Befestigung der Skalen 83
§ 36. Schleuderthermometer 84
§ 37. Maximum- und Minimumthermometer 84
§ 38. Thermometer zur Bestimmung der Intensität der Sonnen- und nächtlichen Strahlung 86
§ 39. Metallthermometer 87

III. Die Instrumente zur Bestimmung der Feuchtigkeit der Luft.

§ 40. Dampfspannung und relative Feuchtigkeit 89
§ 41. Das Psychrometer 91
§ 42. Das Haarhygrometer 93
§ 43. Das Regnaultsche Hygrometer 94

IV. Anemometer.

§ 44. Allgemeines über Anemometer 96
1. Die Windfahne mit Windstärkemesser nach H. Wild . . . 97
2. Das Anemometer nach Hagemann 99
3. Das Robinsonsche Schalenkreuz-Anemometer 101
§ 45. Aufstellung eines Anemometers an Bord 103

V. Regen- und Verdunstungsmesser.

§ 46. Regenmesser 104
§ 47. Verdunstungsmesser 106
Meteorologische Tabellen 107
I. Verwandlung von Millimetern in englische Zoll und umgekehrt 107
II. Reduktion der Barometerstände auf 0° Temperatur . . . 108
III. Schwerekorrektion des Quecksilberbarometers 109
IV. Ausdehnung der Luft durch die Wärme 110
V. Abgekürzte Psychrometertafel für den Gebrauch an Bord . 112
VI. Vergleichung der Thermometerskalen von Celsius und Fahrenheit 114

Dritter Abschnitt.

Apparate und Instrumente für oceanische Beobachtungen.

§ 48. Theorie der Lothe und Lothleinen 115
§ 49. Tieflothleinen 117
§ 50. Lothdraht 120
Handhabung des Drahtes 121
§ 51. Einfache Lothe 123
§ 52. Lothe mit Auslösevorrichtungen 125
§ 53. Beschreibung des Belknap-Sigsbee-Lothes (Tafel I) 126
§ 54. Das Tiefloth von Bailie (Tafel II) 127
§ 55. Das Lothen in grossen Tiefen mit der Leine 128
§ 56. Die Drahtlothmaschine 131
§ 57. Die Ermittelung der Tiefe 133
§ 58. Die von Sigsbee verbesserte Lothmaschine (Tafel III, IV und V) . . 137
§ 59. Der Tiefenindikator von Massey (Tafel VI) 139
§ 60. Bestimmung der Tiefe aus dem Druck des Wassers 141

Seite
§ 61. Sir William Thomsons Lothmaschine (ältere Konstruktion) 143
§ 62. Sir William Thomsons verbesserte Lothmaschine (Tafel VII) 147
§ 63. Die Bambergsche Lothmaschine mit Tiefenmesser (Tafel VIIa) . . . 149
1. Lothmaschine 149
2. Der Tiefenmesser 151
§ 64. Instruktion für den Gebrauch der Lothmaschine 152
§ 65. Apparate zur Bestimmung von Stromrichtung und -Geschwindigkeit . 154
Messung der Stromgeschwindigkeit vermittelst frei schwimmender Körper 154
§ 66. Der Stromrichtungsanzeiger von Aimé 156
§ 67. Der Woltmannsche Flügel 158
§ 68. Der hydrometrische Flügel von Amsler-Laffon (Tafel VIII) 159
§ 69. Der Stromgeschwindigkeitsmesser von Arwidson 161
§ 70. Geschwindigkeitsmesser mit nachgeschleppter Schraube (Tafel IX) . . 163
§ 71. Das Decklog von Massey 165
§ 72. Das Decklog von Haecke (Tafel IXa) 167
§ 73. Messung der Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen 168
1. Oberflächentemperaturen 168
2. Temperatur in geringen Tiefen 169
3. Tiefseetemperaturen 171
§ 74. Das Tiefseethermometer von Miller (Maximum- und Minimumthermometer nach Six) 171
§ 75. Das Tiefseethermometer von Negretti und Zambra (Kippthermometer, Tafel X) 174
§ 76. Graphische Darstellung der Reihentemperaturen (Tafel XI) 177
§ 77. Apparate zum Wasserschöpfen (Allgemeines) 178
§ 78. Der Wasserschöpfapparat von Meyer (Tafel XII) 179
§ 79. Der Wasserschöpfapparat von Buchanan (Tafel XIII) 180
§ 80. Der Wasserschöpfer von Sigsbee (Tafel XIV) 180
§ 81. Der für Wärme isolirte Wasserschöpfer von Ekman 182
§ 82. Aräometer 184
§ 83. Schleppsäcke und Schleppleinen (Tafel XV) 186
§ 84. Das Manövriren beim Schleppen 187
§ 85. Schleppnetze und Schleppkäscher 188
Tabellen für oceanische Beobachtungen 190

Vierter Abschnitt.

Kompasse und magnetische Instrumente.

I. Kompasse.

§ 86. Die Theorie der Kompasse 194
§ 87. 1. Die Empfindlichkeit der Kompasse 195
2. Die Ruhe der Kompasse 197
§ 88. Allgemeines über die beiden Kompasssysteme 198
§ 89. Die Stabilität der Kompassrose 199
§ 90. Die magnetische Kraft der Kompassrose 200
§ 91. Die Bestimmung der magnetischen Kraft 201
§ 92. Die Methode der Schwingungen 202
§ 93. Die Methode der Ablenkungen 205
§ 94. Die Konstruktion der Kompasse mit Rücksicht auf die Kompensation 206
Beschreibung der in der Kaiserlichen Marine gebräuchlichen Kompasse 209

Seite

§ 95. Der Normalkompass . . . 209
§ 96. Der Peilapparat . . . 212
§ 97. Der Azimutkompass . . . 216
§ 98. Der Steuerkompass . . . 216
§ 99. 1. Der grosse Fluidkompass (Tafel XVI) . . . 216
2. Der kleine Fluidkompass . . . 219
§ 100. Beschreibung des Thomsonschen Kompasses . . . 219
§ 101. Der Azimutspiegel . . . 221
§ 102. Der Bootskompass . . . 223
§ 103. Der Hängekompass . . . 224
§ 104. Das Peilkompasshaus mit verstellbaren Magnetträgern und transparenter Peilscheibe (Tafel XVII) . . . 225
Aufstellung des Kompasshauses und Kompensirungsverfahren . . 227
§ 105. Vorschriften für die Prüfung der Kompasse . . . 230
I. Prüfung des Peilapparates . . . 230
a) Ob die Diopter parallel zu einander stehen . . . 230
b) Ob die Diopter senkrecht zur Ebene des Kreises stehen 230
c) Ob die Visirebene durch das Centrum der vertikalen Umdrehungsaxe geht . . . 230
d) Ob die Reflexionsebene des Diopterspiegels mit der Visirebene zusammenfällt . . . 231
e) Ob die Kreiseintheilung centrisch zur Umdrehungsaxe ist 231
f) Ob der Peilapparat einen Prismenfehler hat . . . 232
II. Untersuchung der Rosen, Pinnen u. s. w. . . . 233
a) Prüfung der Rose auf ihre magnetische Kraft, richtige Form und Feinheit des Hütchens und der Pinne . 233
b) Ob die Pinne centrisch zur Umdrehungsaxe des Peilapparates ist . . . 234
c) Ob die Theilung der Rose centrisch zum Aufhängungspunkt des Hütchens ist . . . 235
d) Ob die Steuerstriche richtig stehen . . . 235
§ 106. Behandlung der Kompassrosen und Pinnen . . . 236

II. Magnetische Instrumente.

§ 107. Die Horizontalnadel . . . 236
§ 108. Das Deviationsmagnetometer (Tafel XVIII) . . . 238
§ 109. Abweichende Konstruktion des Deviationsmagnetometers . . . 240
§ 110. Beobachtungen mit dem Deviationsmagnetometer . . . 242
1. Beobachtungen mit der Horizontalnadel . . . 242
2. Beobachtungen mit der Vertikalnadel . . . 243
§ 111. Bestimmung der erdmagnetischen Elemente . . . 244
§ 112. Bestimmung von λ aus Beobachtungen mit der Horizontalnadel . . . 245
§ 113. Bestimmung von μ aus Beobachtungen mit der Vertikalnadel . . . 247
§ 114. Rechnungsbeispiele . . . 248
§ 115. Das Vertikal-Instrument von Sir William Thomson . . . 248. 254
Beschreibung und Gebrauch des Instruments . . . 254
§ 116. Instrumente zum Reguliren der Kompasse ohne Deviationsbestimmung 257
§ 117. Sir William Thomsons Deflektor . . . 258
Gebrauch des Instruments bei Kompensation der Kompasse . . 260
Bemerkungen über die Handhabung des Instruments . . . 261
§ 118. Der Kontrolkompass von Peichl. Allgemeines . . . 262
1. Beschreibung des Kontrolkompasses (Tafel XIX) . . . 263
2. Fehler der Angaben des Kontrolkompasses . . . 264

Seite
3. Beobachtung 265
4. Die Deviation des Kontrolkompasses 266
5. Kompensation des Kontrolkompasses 266
§ 119. Der Intensitätsmultiplikator von Peichl — Allgemeines (Tafel XX) . 269
1. Beschreibung des Intensitätsmultiplikators 270
2. Aufstellung des Apparates an Bord und Einstellung der Koefficienten 271
3. Korrektur der Kompensation 272
§ 120. Das Deklinatorium (Tafel XXI) 272
Gebrauch des Deklinatoriums 274
§ 121. Der Foxsche Apparat zur Bestimmung der Inklination und Intensität 275
Beschreibung des Foxschen Apparats (Tafel XXII) 280
Aufstellung und Orientirung des Apparates 282
Beispiel für die Anwendung des Foxschen Apparates 283
I. Die Beobachtungen 283
a) Bestimmung der Richtung des magnetischen Meridians 284
b) Bestimmung der Inklination 284
c) Beobachtung der Ablenkungswinkel zur Bestimmung der Intensität 285
II. Bestimmung der Reduktionskonstanten 287
III. Reduktion der Beobachtungen 296

Fünfter Abschnitt.

Winkel-Instrumente ohne Stativ.

I. Sextanten.

§ 122. Die Grundgesetze der Spiegelung 298
§ 123. Beschreibung des Oktanten 300
§ 124. Beschreibung des Sextanten 304
§ 125. Die Fehler des Sextanten 306
§ 126. Einfluss der Fehler auf die Winkelmessung 310
§ 127. Korrektur der Spiegel- und Fernrohrneigung 312
1. Prüfung und Berichtigung der Stellung des grossen Spiegels . 312
2. Prüfung und Korrektur der Stellung des kleinen Spiegels . . 313
3. Prüfung und Korrektur der Fernrohrstellung 313
§ 128. Bestimmung der Fadenabstände 314
Bestimmung der Neigung des Fernrohrs zur Reflexionsebene . . 314
§ 129. Der Winkel zwischen der Normalen auf dem kleinen Spiegel und der Fernrohraxe 315
§ 130. Die prismatische Gestalt der Spiegelgläser 317
§ 131. Ermittelung der Spiegelfelder 320
§ 132. Die Prüfung der farbigen Gläser 321
§ 133. Die Fehler der Excentricität 321
§ 134. Die Bestimmung des Indexfehlers 329
§ 135. Beobachtung von Winkeln zwischen nahen Objekten 330
§ 136. Distanzmessung mittelst des Sextanten 331
§ 137. Reparaturen etc. an Spiegel-Instrumenten 332
§ 138. Terrestrische Winkelmessung 333
§ 139. Abweichende Konstruktion einzelner Theile 335
1. Visirvorrichtung bei Oktanten 335
2. Limbus mit Theilung auf Elfenbein 335
3. Sextantenkörper 336

Seite

§ 140. Der Oktant mit Registrirtrommel 336
§ 141. Sextanten für Nachtbeobachtungen 338

II. Reflexionskreise.

§ 142. Allgemeines 340
§ 143. Theorie der Prismen-Instrumente 342
§ 144. Der Reflexionskreis von Pistor und Martins 344
a) Der grosse Prismenkreis 347
b) Der kleine Prismenkreis 349
§ 145. Prüfung und Korrektur der Prismenkreise 349

III. Reflexions-Instrumente zur Bestimmung von Richtungslinien.

§ 146. Das Prismenkreuz 350

IV. Mikrometer-Fernrohre für Abstandsbestimmungen.
(Doppelbild-Mikrometer von Rochon oder von Dollond 353.)

§ 147. Allgemeines 352
§ 148. Distanzmesser nach Schaub (Tafel XXIII) 354
1. Beschreibung des Instruments 354
2. Gebrauch des Instruments 355
3. Anwendung des Distanzmessers 356

Tabellen zum V. Abschnitt 358

Sechster Abschnitt.

Theodolite und Universal-Instrumente.

I. Theodolite.

§ 149. Theorie der Horizontal-Winkelmessung 363
§ 150. Elimination der Axenfehler bei der Beobachtung 366
§ 151. Die Excentricität des Fernrohrs 367
§ 152. Beschreibung eines kleinen Theodoliten (Tafel XXIV) 368
§ 153. Aufstellung und Korrektur des kleinen Theodoliten 369

II. Universal-Instrumente.

§ 154. Das kleine astronomische Universal-Instrument (Tafel XXV, XXVI) 372
§ 155. Das geodätische Universal-Instrument 374
§ 156. Prüfung und Berichtigung der Axenfehler des Universal-Instruments . 376
§ 157. Aufstellung des Universal-Instruments 378
§ 158. Der Höhenkreis 379
§ 159. Bestimmung der Richtung des Meridians 381
§ 160. Das Universal-Instrument als Durchgangs-Instrument 385
§ 161. Anstellung von Durchgangsbeobachtungen 387
1. Bestimmung der Fadenabstände 387
2. Bestimmung der Neigung 391
3. Bestimmung des Kollimationsfehlers durch Beobachtung eines Cirkumpolarsterns 391
4. Aufstellung des Instruments im Meridian. Bestimmung des Azimutfehlers 392

Nachtrag zum III. Abschnitt: Apparate und Instrumente für oceanische Beobachtungen.

Der Schiffsgeschwindigkeitsmesser („Fahrtmesser") von Strangmeyer (Tafel XXVII, XXVIII, XXIX) 396

Anhang.

Gelegentliche Vermessungen.

Seite

I. Allgemeines 403
II. Vorbereitungen 405
III. Rekognoscirung 406
IV. Triangulation 408
Fehler der Triangulation 410
V. Entfernungsbestimmung. Basismessung 411
1. Direkte Messung einer kleinen Basis 412
2. Mikrometermessung 413
3. Messung durch den Schall 414
4. Astronomische Ortsbestimmung der Endpunkte 415
5. Die Basisbestimmung mittelst des Patentlogs 416
Zugmessung 416
Uebertragung einer Basis 418
Berechnung der langen Grundlinie 419
VI. Azimut der langen Grundlinie. Konvergenz der Meridiane 420
VII. Zusammenstellung der Triangulation. Entwurf der Karte 421
Aufnahme der Küstenlinie durch Messung von Depressionswinkeln . 424
VIII. Küstenumrisse. Topographie (Tafel XXX) 425
Aufnahme von Vertonungen 429
IX. Lothungen 430
Positionsbestimmung der Lothungen 431
Reduktion der Lothungen 433
Grundbeschaffenheit 434
X. Vermessung in Bewegung 435
XI. Beispiele (Tafel XXXI) 438
XII. Nachträgliche Konstruktion eines Kartennetzes für die Arbeitskarten . 441

Tabellen zum Anhang 444

Namen- und Sachverzeichniss 447

Berichtigungen 452

Fernrohre und Hülfsinstrumente.

I. Fernrohre.

§ 1. Das Grundgesetz der Dioptrik.

Die optischen Instrumente, welche im Folgenden beschrieben werden sollen, sind aus Glaskörpern zusammengesetzt, welche von Kugelflächen begrenzt werden und unter der Bezeichnung Linsen allgemein bekannt sind. Die Grenzflächen der hier in Betracht kommenden Linsen sind schwach gewölbt und übersteigen nicht 25° der Kugelfläche. Unter dieser Voraussetzung kann die Betrachtung des Ganges der Lichtstrahlen wesentlich vereinfacht werden dadurch, dass man die Linsendicke vernachlässigt und die Annahme macht, dass die Strahlen alle ganz nahe der Linsenaxe einfallen.

Die Linsen werden eingetheilt in Sammellinsen, welche in der Mitte die grösste Dicke besitzen, und Zerstreuungslinsen, welche am Umfang am dicksten sind. Für beide Arten von Linsen gelten die gleichen optischen Gesetze.

Es soll im Nachstehenden das Hauptgesetz der Dioptrik an der gewöhnlichsten und wichtigsten Sammellinse auseinandergesetzt werden, während im Uebrigen die Grundlehren der Optik als bekannt vorausgesetzt werden.

1. Der Gang der Lichtstrahlen durch die Linse erhellt aus folgender Betrachtung:

Alle von einem beliebigen Punkte O Fig. 1 (in der Entfernung E) auf eine konvexe Fläche vom Radius R auffallenden Strahlen vereinigen sich in dem von dieser Fläche begrenzten dichteren Medium in einem Punkte Q (in der Entfernung A) mit dem ungebrochen durch den Axenpunkt gehenden Hauptstrahl. Bildet einer der Strahlen bei O den Winkel α mit dem Hauptstrahl und trifft bei P die Konvexfläche, so besteht zwischen dem Einfallswinkel γ und dem Austrittswinkel δ die Relation

$$\sin \gamma = n \sin \delta,$$

worin n den Berechnungsindex bedeutet.

Bezeichnet man ferner den Winkel dieses Strahles mit dem Hauptstrahl bei Q mit β, den dem Radius bei P entsprechenden Centriwinkel mit ζ, so ist

$$E \operatorname{tg} \alpha = R \operatorname{tg} \zeta = A \operatorname{tg} \beta,$$

ferner $$\gamma = \zeta + \alpha; \quad \zeta = \delta + \beta.$$

Da alle diese Winkel der Voraussetzung gemäss sehr klein sind, so kann man setzen:

$$E\alpha = R\zeta = A\beta \text{ und } \gamma = n\delta.$$

Um die kleinen Winkel zu eliminiren, hat man

$$\zeta = \frac{A}{R}\beta; \ \alpha = \frac{A}{E}\beta$$

$$\gamma = \zeta + \alpha; \ \delta = \zeta - \beta$$

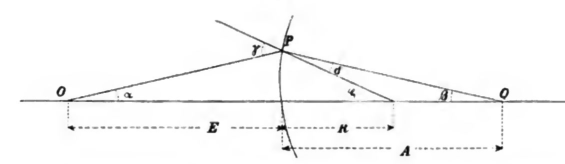
$$\zeta + \alpha = n(\zeta - \beta)$$

$$\frac{A}{R}\beta + \frac{A}{E}\beta = n\left(\frac{A}{R}\beta - \beta\right)$$

$$\frac{A}{R} + \frac{A}{E} = n\left(\frac{A}{R} - 1\right)$$

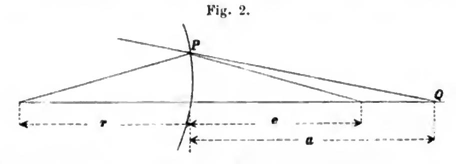
$$(1) \qquad \frac{1}{R} + \frac{1}{E} = n\frac{1}{R} - n\frac{1}{A}.$$

Fig. 1.



Wenn nun der nach Q hin gebrochene Strahl auf die konkave Fläche vom Radius r trifft, welche die Linse an der Rückseite begrenzt, so gelten

Fig. 2.



dieselben Relationen, nur erhält der Radius und die Vereinigungsweite e das umgekehrte Vorzeichen, und es ist

$$(2) \qquad -\frac{1}{r} - \frac{1}{e} = -n\frac{1}{r} - n\frac{1}{a}.$$

Wird die Dicke der Linse vernachlässigt, so ist $a = A$, und man erhält durch Subtraktion der beiden Gleichungen (1) und (2)

$$(3) \qquad \frac{1}{E} + \frac{1}{e} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right).$$

wodurch die Vereinigungsweite e hinter der Linse für die aus der Entfernung E auf die Linse fallenden Strahlen bestimmt ist. Der Werth $(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)$, welcher von dem Brechungsverhältniss n der gewählten Glassorte und der Krümmung der beiden Linsenflächen abhängt, lässt sich für jede Linse bestimmen, indem man Strahlen aus unendlicher Entfernung (parallele Strahlen) auf dieselbe fallen lässt. Dann ist $E=\infty$, $\frac{1}{E}=O$ und $\frac{1}{e}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)$. Diese Vereinigungsweite e für parallel auf die Linse auffallende Strahlen heisst die Brennweite der Linse und wird mit f bezeichnet. Aus dem Vorstehenden folgt:

$$\text{I.} \quad f=\frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)}$$

$$\text{II.} \quad \frac{1}{f}=\frac{1}{E}+\frac{1}{e}.$$

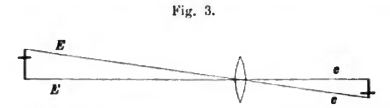
Hieraus ist zugleich ersichtlich, dass wenn man $e=\infty$ setzt, $E=f$ wird, dass also der Brennpunkt vor der Linse ebensoweit von derselben abliegt als der Brennpunkt hinter der Linse, unabhängig von der Verschiedenartigkeit der Krümmungen beider Flächen. Ist die hintere Fläche plan oder nach innen gewölbt (plankonvexe, konkav-konvexe Linsen), so bleibt das Gesetz ungeändert; erst wenn die hintere Wölbung stärker ist als die vordere (konvex-konkave Linse), ändert sich das Vorzeichen von $\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{r}\right)$, und die Vereinigung der Strahlen findet nicht mehr hinter der Linse statt. Hiernach kann man sich die Wirkungsweise der einzelnen Linsen leicht klar machen. Für das Folgende ist das Verhältniss von E zu e zunächst von besonderem Interesse.

Man hat für
$$E=\infty \quad e=f$$
$$E=2f \quad e=2f$$
$$E=f \quad e=\infty$$

Für die Berechnung von E und e wird die Gleichung II umgesetzt in $e=\frac{fE}{E-f}$.

2. Die Entfernungen E und e gelten zunächst für leuchtende Punkte. Sie lassen sich aber ebenso auf ganze Objekte anwenden. Denn von

Fig. 3.



jedem Punkt des in der Entfernung E vor der Linse befindlichen Objekts lässt sich ein Hauptstrahl durch den Axenpunkt der Linse legen, welcher

ungebrochen durch dieselbe hindurchgeht und in welchem sich die zugehörigen Nebenstrahlen in der Entfernung e nach demselben Gesetz wieder vereinigen. Es entsteht daher in der Entfernung e hinter der Linse von jedem Punkt des Objekts — also von dem Objekt selbst — ein deutliches, aber verkehrtes Bild, welches selbst wieder als optisches Objekt, d. h. als ein reelles Bild betrachtet werden kann. Die Grösse desselben ist abhängig von dem Verhältniss der Entfernungen E zu e. (Fig. 3.)

Sammellinsen haben also in Bezug auf die Bilder, welche durch dieselben erblickt werden, folgende Eigenschaften:

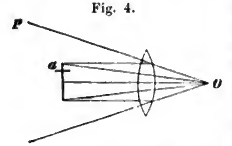
1. Ist die Entfernung des Objekts grösser als die doppelte Brennweite, so erscheint ein verkleinertes reelles umgekehrtes Bild auf der dem Objekt abgewandten Seite der Linse. Dasselbe entsteht für unendliche Entfernungen im Abstande des Brennpunktes und entfernt sich bei Annäherung des Objekts sehr langsam. Befindet sich das Objekt in der doppelten Entfernung der Brennweite, so erscheint ein reelles umgekehrtes Bild von gleicher Grösse in demselben Abstande der doppelten Brennweite hinter der Linse.

2. Befindet sich das Objekt in einem Abstande, der geringer als die doppelte, aber grösser als die einfache Brennweite ist, so entsteht ein umgekehrtes reelles vergrössertes Bild in grösserem Abstande hinter der Linse.

In beiden Fällen ist $e = \frac{FE}{E-F}$.

3. Befindet sich das Objekt in der Entfernung der Brennweite oder näher an der Linse, so entsteht kein reelles Bild mehr. Für $E < F$ wird $e = -\frac{FE}{F-E}$, d. h. das Bild erscheint vor der Linse. Ein Auge in O (Fig. 4) hinter der Linse nimmt den Punkt a in der Richtung OP wahr, das Auge glaubt daher ein grösseres aufrechtes Bild zu sehen, oder mit anderen Worten: Es entsteht ein vergrössertes virtuelles aufrechtes Bild vor der Linse. — Die erste Art der Bildentstehung findet statt beim Objektivglas der Fernrohre. Die zweite Art wird beim Sonnen-Mikroskop ausgenutzt. Der dritte Fall ist der der Lupe und des Okulars im astronomischen Fernrohr.

Fig. 4.



§ 2. Das astronomische Fernrohr.

Das astronomische Fernrohr besteht im Wesentlichen aus zwei Sammellinsen, von denen die grössere, das Objektiv (mit der Brennweite F), die von dem zu betrachtenden entfernten Objekt herkommenden Strahlen zu einem kleinen reellen verkehrten Bilde vereinigt, während die kleinere,

das Okular (mit der Brennweite f), zur Betrachtung dieses Bildes im vergrösserten Maassstabe dient.

Der Ort des durch das Objektiv entworfenen Bildes findet sich aus der Relation

$$e = \frac{FE}{E-F}, \qquad (1)$$

der Ort des Okulars ist bestimmt durch die Entfernung d, in welcher das Bild betrachtet werden muss, damit man ein vergrössertes virtuelles Bild in der deutlichen Sehweite des Auges W erblickt, also:

$$d = \frac{fW}{W+f} \qquad (2)$$

aus der optischen Gleichung, in welcher W negativ einzusetzen ist, da beide Bilder auf derselben Seite der Linse liegen.

Aus (1) ist ersichtlich, dass für nähere Gegenstände das Bild weiter hinter dem Objektiv entsteht, als für entferntere. Das Fernrohr muss also weiter ausgezogen werden. Aus (2) ist ersichtlich, dass für grössere Sehweiten das Okular vom reellen Bilde weiter abstehen muss, daher müssen Weitsichtige das Okular ausziehen, Kurzsichtige es hineinschieben.

Für parallel einfallende Lichtstrahlen, also sehr entfernte Objekte, wird $e = F$. Auch der Abstand d ist sehr nahe gleich f, da f im Vergleich zu W stets sehr klein ist (z. B. $f = 1$ cm, $W = 10$ cm, $d = 11$ cm).

Es kann also sehr nahe richtig gesetzt werden: die Länge des Fernrohres oder der Abstand des Okulars vom Objektiv ist gleich der Summe der Brennweiten beider.

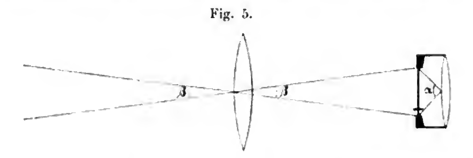
Durch das Fernrohr ist ein vergrössertes umgekehrtes virtuelles Bild des betrachteten Objekts zu Stande gebracht. Die Eigenschaften dieses Bildes sind die Kriterien für die Güte des Fernrohrs. Die Vergrösserung, die Helligkeit, das Gesichtsfeld, die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes sind die Begriffe, welche definirt werden müssen. Die Konstruktionsprincipien für Fernrohre ergeben sich daraus dann von selbst.

1. Die Vergrösserung.

Unter Vergrösserung des Fernrohrs versteht man das Verhältniss des Gesichtswinkels, unter welchem ein Objekt durch das Fernrohr gesehen erscheint, zu dem Gesichtswinkel, unter welchem dasselbe Objekt mit blossem Auge gesehen erscheint. Folgende Beobachtung, welche beiläufig zur ungefähren Bestimmung der Vergrösserung dienen kann, veranschaulicht diese Definition unmittelbar. Man richtet das Fernrohr auf eine getheilte Fläche, z. B. eine Backsteinwand, sieht mit einem Auge hindurch und blickt mit dem andern unbewaffneten Auge gleichfalls nach der Wand hin. Dann gewahrt man das vergrösserte Bild gleichsam durchsichtig schwebend vor dem direkt gesehenen und erhält die (lineare) Vergrösserung einfach aus der Zahl übereinanderliegender Backsteine, welche von einem durch das Fernrohr gesehenen Stein überdeckt werden.

Aus der schematischen Figur 5 ist ersichtlich, dass, wenn man für den Gesichtswinkel des unbewaffneten Auges den Winkel β am Objektiv

Fig. 5.



substituirt — d. h. wenn man die Länge des Fernrohrs im Verhältniss zur Entfernung des Objektes vernachlässigt — man für die Vergrösserung v erhält $\frac{\alpha}{\beta}$. Dieses Verhältniss ist aber gleich dem umgekehrten Verhältniss der Entfernungen beider Linsen vom Bilde im Fernrohr

$$v = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{e}{d} = \frac{FE(W+f)}{fW(E-F)}$$

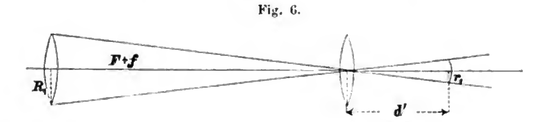
oder für sehr grosse Entfernungen und im Allgemeinen immer genau genug

$$v = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{F}{f}.$$

Die erste Gleichung ist insofern zu beachten, als sie ersichtlich macht, dass die Vergrösserung für nahe Gegenstände wächst und dass ein weitsichtiges Auge die Gegenstände geringer vergrössert sieht, als ein kurzsichtiges Auge. Beides ist aber nur in geringem Grade der Fall. (Ein kurzsichtiges Auge mit einer richtig gewählten Brille benutzt dieselbe Okulareinstellung wie ein normales Auge.)

Wenn das Fernrohr auf unendliche Entfernung eingestellt ist, so haben Objektiv und Okular einen Punkt als gemeinsamen Brennpunkt, man sagt daher, das Fernrohr ist auf den Fokus gestellt. Richtet man dieses Fernrohr gegen helles Licht, so erscheint hinter dem Okular ein kleines helles Kreisbild, welches nichts Anderes ist, als das Bild des wirksamen (von Blendungen nicht beschränkten) Objektivs. Dieser Kreis wird der Ramsdensche Kreis genannt. Die Entfernung des Ramsdenschen

Fig. 6.



Kreises hinter dem Okular bestimmt sich aus der allgemeinen optischen Gleichung, wenn man für die Entfernung des Objekts hier die des Objektivs

$F+f$ (Fig. 6) einsetzt. Man erhält dann $d' = \frac{(F+f)f}{F}$. Der Ort dieses Kreises ist zugleich der günstigste Ort des Auges, da alle nutzbaren Strahlen des Objektivs hier auf den kleinsten Raum zusammenfallen.

Es ist auch $\frac{F}{f} = \frac{F+f}{d'} = \frac{R_1}{r_1} = v$, das heisst die Vergrösserung wird bestimmt, indem man den Durchmesser des Objektivs dividirt durch den Durchmesser des Ramsdenschen Kreises.*)

2. Die Helligkeit.

Die auf das Objektiv auffallenden Lichtstrahlen, welche sich im Brennpunkt vereinigen, pflanzen sich geradlinig weiter fort bis zum Okular. Von diesem werden sie gebrochen und treten als ein heller Cylinder paralleler Lichtstrahlen aus. Der Radius der Kreisfläche dieses Cylinders r_1, verhält sich zum Objektivradius R_1 wie f zu F. Also $\frac{R_1}{r_1} = \frac{F}{f} = v$. Man erkennt, dass dieser Kreis gleich ist dem Ramsdenschen, welcher aufzufassen ist als der (durch gleichzeitige Vereinigung der Nebenstrahlen) hellste Durchschnitt des Lichtcylinders hinter dem Okular (Fig. 7).

Fig. 7.



Die grösste Helligkeit ist nun erreicht, wenn dieser Lichtcylinder die Pupille des Auges ganz ausfüllt, d. h. wenn der Ramsdensche Kreis gleich dem Pupillenkreise ist $r_1{}^2\pi = \varrho^2\pi$. Ist r_1 grösser als ϱ, so gehen die übrigen Strahlen verloren, und das Auge empfängt nicht mehr Licht als wenn $r_1 = \varrho$. Das Verhältniss $\frac{r_1{}^2\pi}{\varrho^2\pi}$ ist die Helligkeit des Fernrohrs und kann nach dieser Erklärung nicht grösser werden als 1. Da $r_1 = \frac{R_1}{v}$, so ist die Helligkeit auch $\frac{R_1{}^2}{v^2\varrho^2}$ mit dem Maximalwerthe 1. Dieser Maximalwerth giebt die d i o p t r i s c h e H e l l i g k e i t, welche immer noch gegen die natürliche Helligkeit zurücksteht, wegen der Refraktion des Lichts an den Linsenflächen. Die Einheit der dioptrischen Helligkeit wird also variiren nach der Zahl der Linsenflächen und bei einer grösseren Zahl von Linsen unvermeidlich herabgedrückt werden. Aber auch der Durch-

*) Inwieweit dieser Satz durch enge Diaphragmen beeinträchtigt wird, ist bei der Beschreibung des Ramsdenschen Dynamometers erwähnt. (Siehe § 5, 3.)

messer der Pupille ist keine absolute Grösse. Die Pupille verkleinert sich beim Betrachten heller Gegenstände und erweitert sich im Dunkeln; es ist also für die rationelle Ausnutzung des Fernrohrs massgebend, unter welchen Verhältnissen dasselbe gebraucht werden soll. Für verschiedene Verhältnisse kann man zwei Okulare bereit halten. Das stärker vergrössernde von kürzerer Brennweite erzeugt einen dünneren Lichtcylinder als das schwächere, welches vom Brennpunkt weiter absteht. Letzteres ist also für eine erweiterte Pupille bei schwacher Beleuchtung, ersteres für eine verengte Pupille bei greller Beleuchtung am brauchbarsten.

Aus dem Ort des Ramsdenschen Kreises, als dem günstigsten Ort für das Auge, und der angenommenen Grösse der Pupille ergiebt sich die passende Form der Okularfassung und des Okulardeckels. Der Durchmesser der Pupille ist für Tageslicht zu 4 mm anzunehmen. Der Lichtcylinder, der auf das Auge fällt, kann noch etwas grösser sein, da die Strahlen beim Eintritt in das äussere Auge der Pupillenaxe zu gebrochen werden.

Grosse Helligkeit wird also erzielt durch Anwendung weniger Linsen, bei grossen Objektivgläsern und bei geringer Vergrösserung.*)

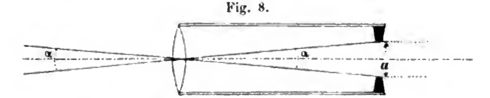
3. Das Gesichtsfeld.

Unter Gesichtsfeld versteht man den im Winkelmass ausgedrückten konischen Raum, welchen man durch das Fernrohr sehend auf einmal überblickt. Derselbe bestimmt sich also aus dem Verhältniss der Grösse der Bildfläche im Fernrohr zur Entfernung derselben vom Objektiv. Am Ort der Bildentstehung (um den gemeinschaftlichen Brennpunkt von Okular und Objektiv) ist eine ringförmige Blende (Diaphragma) angebracht, welche einerseits die schädlichen an den inneren Flächen des Rohrs stattfindenden Reflexe abzublenden bestimmt ist, andererseits die zur Verwendung zu bringende Oeffnung des Okulars nach dem Verhältniss seiner Brennweite einschränkt, damit das durch das Okular gesehene Bild nicht an den Rändern verzerrt und undeutlich erscheine. Alle vom Objektivmittelpunkt durch das Diaphragma hindurchtretenden Strahlen können zur Bildentstehung benutzt werden, der Winkel, den die äussersten derselben bilden,

*) „Nur wenn wir verschwindend kleine leuchtende Punkte durch optische Instrumente betrachten, deren Bild auch bei den stärksten Vergrösserungen nur die Ausdehnung der kleinsten Zerstreuungskreise bedeckt, also immer dieselbe Flächenausdehnung behält, können optische Instrumente die Helligkeit vergrössern. Dies geschieht z. B. für die Fixsterne, und deshalb können auch Fixsterne durch stark vergrössernde Fernrohre mit grossen Aperturen bei Tage sichtbar gemacht werden. Die scheinbare Helligkeit des Fixsterns steigt proportional der Lichtmenge, welche das Instrument in seinem Fokus vereinigt, während die Helligkeit des Himmelsgewölbes im Fernrohr nicht vermehrt wird." (Helmholtz, Physiologische Optik, Seite 174.) Um Unklarheit zu vermeiden, ist der Begriff der „Lichtstärke der Fernrohrbilder" hier nicht eingeführt.

ist das Gesichtsfeld. Ist (Fig. 8) α der Winkel des Gesichtsfeldes, a der Durchmesser des Diaphragmas, also der Bildfläche, so ist $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{1}{2}a}{F}$. Der Kreis vom Durchmesser a wird nach Obigem gleich der „nützlichen Oeffnung"

Fig. 8.



des Okulars gewählt, welche erfahrungsmässig nicht grösser als $0{,}6\,f$ für plankonvexe Linsen anzunehmen ist. Danach ist $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = 0{,}3\,\frac{f}{F}$ also umgekehrt proportional der Vergrösserung. Man bestimmt aus der Vergrösserung auf diese Weise bequem die annähernde Grösse des Gesichtsfeldes; z. B. entspricht

der Vergrösserung 8: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{27}$ oder $\alpha = 4^\circ\,18'$,

der Vergrösserung 15: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{1}{50}$ oder $\alpha = 2^\circ\,17',5$.

Die Grösse des Gesichtsfeldes ist somit unabhängig von der Oeffnung des Objektivs, direkt abhängig von der Oeffnung, welche man dem Diaphragma geben darf und mittelbar von der Krümmung der Okularlinsen.

4. Die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes.

Da die Gesetze der Dioptrik nur streng gültig sind für die Lichtstrahlen in nächster Nähe der optischen Axe, so werden alle Linsenbilder Verzerrungen zeigen, welche von der Krümmung der Linsenflächen herrühren. Die Brennweite der centralen Strahlen ist umsomehr von der Brennweite der Randstrahlen verschieden, je kleiner die Krümmungsradien der Linsenflächen sind. Da nun auch die Linsen von kleiner Brennweite die kleinsten Krümmungsradien haben, so folgt, dass diese Verzerrungen, welche man als sphärische Abweichungen bezeichnet, sich in hervorragendem Masse bei den Okularlinsen geltend machen müssen.

Bei der Brechung der Lichtstrahlen durch die Linsen findet ferner stets eine Farbenzerstreuung dieser Lichtstrahlen statt, da das Brechungsverhältniss für jede Farbe ein verschiedenes ist. Bei einer Konvexlinse konvergiren die violetten Strahlen am stärksten, die rothen am geringsten, das Bild zeigt daher farbige Ränder, welche einander theilweise überdecken und noch mehr die Deutlichkeit beeinträchtigen als die sphärischen Abweichungen. Dies sind die chromatischen Abweichungen.

Die sphärischen und chromatischen Abweichungen sind es hauptsächlich, welche die Konstruktionen der Fernrohre komplicirt machen.

Ein Fernrohr bestehend aus zwei einfachen Konvexlinsen bietet zwar die grösste Durchlässigkeit für das Licht, aber das Bild wird durch jene Abweichungen in seiner Deutlichkeit so beeinträchtigt, dass eine solche einfache Kombination nur für ganz specielle Zwecke brauchbar ist.

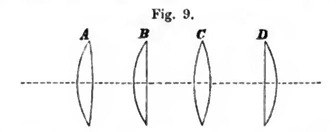
Die sphärischen Abweichungen werden vermindert durch passende Anordnung verschieden gekrümmter Linsenflächen, die chromatischen entweder durch eine Kombination zweier Sammellinsen in einigem Abstande von einander, hauptsächlich aber durch Kombination von Glassorten sehr verschiedener Zerstreuungskraft. Man wendet für das Okular ein Linsensystem von zwei in gewissem Abstande hinter einander angeordneten Konvexlinsen an, während man das Objektiv aus zwei bis drei verschiedenen Glassorten zusammenfügt. Linsensysteme, bei welchen die sphärischen Abweichungen aufgehoben sind, nennt man aplanatische, solche, bei denen die chromatischen Abweichungen beseitigt sind, achromatische.

Im Folgenden sollen einige Andeutungen gegeben werden über die Principien, auf welchen die Herstellung aplanatischer und achromatischer Systeme beruht.

a. Aplanatische Linsen.

Aus der Gleichung $\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)$ geht hervor, dass sehr verschieden gekrümmte, also in Bezug auf ihre sphärischen Abweichungen sich sehr verschieden verhaltende Linsenflächen gewählt werden können für die gleiche Brennweite und somit gleiche Vergrösserung. Die bestgestaltete

Fig. 9.



aplanatische Sammellinse aus Kronglas verlangt für die Vorderfläche eine sechsmal stärkere Krümmung als die der Rückfläche.

Wenn 1 die sphärische Abweichung des bestgestalteten Glases *A* ist, Fig. 9, so ist die Abweichung

der konvexplanen Linse	*B*	1,08
der gleich bikonvexen	*C*	1,51
der plankonvexen	*D*	4,20.

Setzt man also die Linse *B* umgekehrt ein, so wird der Fehler der sphärischen Abweichung um das Vierfache vergrössert. Die aplanatisch sehr günstige Linsenform *B* ist für die Augengläser der Okulare und Lupen fast ausschliesslich in Anwendung.

b. Achromatische Linsen.

Um die divergirenden Farbenstrahlen wieder zu vereinigen, bietet sich das Mittel, eine gleiche aber entgegengesetzte Brechung zu veranlassen. Dieses würde geschehen durch Einschaltung einer gleich stark gekrümmten Zerstreuungslinse hinter der Sammellinse. Hierdurch würde aber nicht nur die Dispersion der Farben, sondern auch die Konvergenz der weissen Strahlen aufgehoben werden. Die Zerstreuungskraft des schwereren (bleihaltigen) Flintglases ist jedoch ungefähr doppelt so gross als die Zerstreuungskraft des gewöhnlichen Kronglases, ohne dass die Brechungskraft beider sehr verschieden ist.*) Wenn man also hinter der Konvexlinse von Kronglas eine Konkavlinse geringerer Krümmung von Flintglas anbringt, so kann die Farbenzerstreuung nahezu aufgehoben und die Brechung nahezu erhalten werden. Durch eine konkavplane Form wird die ganze Linse zugleich aplanatischer. Vollständig achromatisch kann eine solche Linse nicht werden und zwar aus folgenden Gründen:

Das Spektrum des Kronglases ist nicht proportional dem Spektrum des Flintglases. Die Farbenvertheilung in dem kurzen Kronglasspektrum ist eine andere als die in dem langen Flintglasspektrum. Kombinirt man also zwei Glassorten so, dass zwei Farben parallel aus der Linse austreten, so gilt dies immer noch nicht für alle anderen Farben. Indessen kann durch zweckmässige Wahl derjenigen Farben, deren parallelen Austritt man erreicht, ein allen Anforderungen genügender Achromatismus erreicht werden. (Vergl. Prüfung von Fernrohren § 5.) Man stellt auch Linsen aus drei Theilen (Kron-, Flint-, Kron-Glas) her, um ein noch vollkommneres achromatisches System zu erhalten.

In einem späteren Absatz (7, Seite 14) wird die gemeinschaftliche Brennweite F zweier Linsen abgeleitet werden, welche beträgt $F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$, wenn $f_1 f_2$ die Brennweiten der einzelnen Linsen und d den Abstand derselben von einander bezeichnen. Daraus ergiebt sich für eine Kombination von einer plankonvexen Linse (Brennweite f_1) mit einer plankonkaven Linse (Brennweite $-f_2$) und $d = 0$

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 - f_2}.$$

f ist nach der Grundgleichung I Seite 3 gleich $\frac{r}{n-1}$ (da $\frac{1}{R} = O$ wird);

daraus folgt: $F = \frac{r_1 r_2}{r_2 (n-1) - r_1 (n^1 - 1)}$, worin n den Brechungsindex für Kronglas, n_1 den für Flintglas bezeichnet. Damit die Brennweite für zwei verschiedene Farben, z. B. gelb (mit dem Brechungsindex n_g) und violet mit dem Brechungsindex n_v gleich werden, muss sein:

$$\frac{r_1 r_2}{r_2 (n_g - 1) - r_1 (n^1{}_g - 1)} = \frac{r_1 r_2}{r_2 (n_v - 1) - r_1 (n^1{}_v - 1)} \text{ oder } \frac{r_1}{r_2} = \frac{n_v - n_g}{n^1{}_v - n^1{}_g}.$$

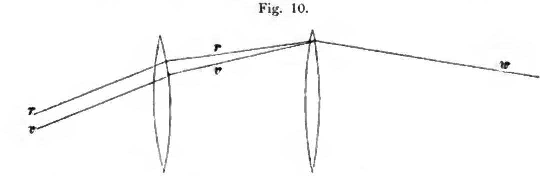
*) Es verhalten sich die Farbenzerstreuungen von Flint- und Kronglas ungefähr wie 2 : 1, die Brechungsexponenten wie 166 : 153.

Je nachdem man also die verschiedenen Brechungszahlen für verschiedene Farben des Spektrums einsetzt, muss man auch ein verschiedenes Verhältniss der Linsenkrümmungen erhalten, weil das Verhältniss $\frac{n}{n^1}$ für verschiedene Orte des Farbenspektrums verschieden ist.

Wie durch zwei in gewissem Abstande von einander befindliche Sammellinsen von demselben Glase eine Beseitigung der chromatischen Abweichungen erreicht wird, zeigt folgende Betrachtung:

Wenn durch die erste Linse Fig. 10 der Lichtstrahl *w* in die farbigen Strahlen *r* und *v* zerlegt wird, so trifft der Strahl *r* eine stärkere gekrümmte Stelle der zweiten Linse als der Strahl *v*. Der Strahl *r* wird

Fig. 10.

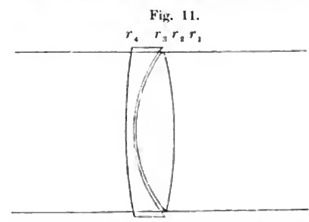


somit stärker gebrochen als *v*. Auf diese Weise kann bei geeigneter Linsenkombination die Dispersion der ersten Linse durch die zweite wieder aufgehoben werden. Daneben erreicht man stets eine Vergrösserung des Gesichtsfeldes, weshalb diese achromatische Kombination bei den Okularen allgemein in Gebrauch ist.

5. Das Objektiv.

Das Objektiv des astronomischen Fernrohrs besteht aus einer Sammellinse, welche kombinirt ist aus einem bikonvexen Kronglase dem Objekt zugekehrt und einem konkavkonvexen Flintglase dahinter. Dieselben sind in der Regel nicht unmittelbar aneinandergelegt, sondern durch einen dünnen Rand von Stanniol oder durch einen durchsichtigen Lack von einander getrennt, so dass alle vier Linsenflächen zur Geltung kommen.

Fig. 11.



Als praktische Regel für gewöhnliche Fälle giebt Herschel für eine Kombination von der Brennweite 1:

r_1 Radius der äusseren Fläche der Kronglaslinse 0,67
r_4 Radius der äusseren Fläche der Flintglaslinse 1,42.

Die Radien der inneren Flächen werden so berechnet, dass die Brennweiten der Gläser ihren Zerstreuungskräften proportional sind, z. B. für das Zerstreuungsverhältniss 0,683 einen Brechungsindex des Kronglases 1,528, des Flintglases 1,601:

$r_2 = 0{,}222$ (innere Fläche des Kronglases)
$r_3 = 0{,}233$ (innere Fläche des Flintglases).*)

Fig. 11 stellt die Form dieser Linsenkombination dar.

Bei den Gebrauchsfernrohren der Marine (Modell Voigtländer) sind die Radien des Objektivs von 13,1 Zoll Brennweite

$$r_1 = 5{,}0775$$
$$r_2 = 4{,}529$$
$$r_3 = 4{,}529$$
$$r_4 = \infty$$

Das Objektiv ist also plankonvex und die Radien der inneren Flächen sind gleich. Der Brechungsindex des zu diesen Objektiven verwendeten Glases ist 1,6571 Flintglas
1,5301 Kronglas.

6. Das Okular.

Ausser der einfachen Konvexlinse als Okular giebt es hauptsächlich zwei zusammengesetzte Okulare, welche bei astronomischen Fernrohren angewendet werden. Beide bestehen aus zwei plankonvexen Linsen. Wenden beide Linsen die konvexen Seiten dem Objektiv zu, so hat man ein Huyghenssches, wenden sie sich gegenseitig die konvexen Seiten zu, so hat man ein Ramsdensches Okular. Dieser äusserliche Unterschied ist begründet in der bei beiden Formen auf verschiedene Weise herbeigeführten Korrektion der sphärischen und chromatischen Abweichungen. Die Wirkungsweise der Gläser ist, ganz abgesehen hiervon, bei beiden Systemen eine durchaus verschiedene.

a. Das Huyghenssche Okular.

Die dem Objektiv des Fernrohrs zunächst liegende Linse dieses Okulars befindet sich zwischen dem Objektiv und dessen Brennpunkt. Diese Linse bewirkt daher eine stärkere Konvergenz der vom Okular herkommenden Strahlen und hat davon den Namen Kollektiv-Linse erhalten.

Sie wirkt also keineswegs als Okular, sondern wird nur wegen ihrer festen Verbindung mit dem Augenglase mit zum Okular gerechnet. Das Augenglas dient nun wie ein gewöhnliches einfaches Okular zur vergrösserten Betrachtung des zwischen beiden Linsen des Okulars entstehenden Bildes.

*) Prechtl, praktische Dioptrik S. 76.

Die beiden Linsen im Huyghensschen Okular werden so gewählt und zusammengesetzt, dass die Kollektivlinse die dreifache Brennweite der Okularlinse hat und für beide Linsen der gemeinschaftliche Brennpunkt hinter das Okular fällt. Das Bild muss daher in der Mitte zwischen beiden Linsen entstehen. Das Kollektivglas aber wirkt mit dem Objektivglas zusammen wie ein Objektiv, welches zwischen den beiden letzteren zu denken ist (siehe Fig. 12). Die Brennweite dieses gedachten Objektivs — der äquivalenten Linse der Kombination Objektiv-Kollektiv — ist massgebend für die Bestimmung der Vergrösserung, der Helligkeit und des Gesichtsfeldes.

b. Das Ramsdensche Okular.

Die dem Objektiv zunächst liegende Linse befindet sich hier hinter dem Brennpunkt des Objektivs, also hinter dem vom Objektiv entworfenen Bilde, zu dessen Betrachtung sie in Kombination mit dem Augenglase dient.

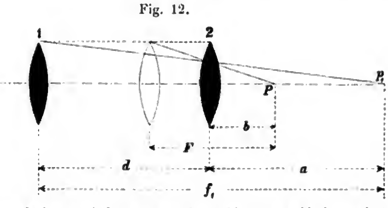
Die beiden Linsen im Ramsdenschen Okular werden so gewählt und zusammengesetzt, dass die Brennweite des vorderen Glases sich zur Brennweite des Augenglases verhält wie 9 zu 5. Für beide Linsen fällt auch hier der gemeinschaftliche Brennpunkt hinter das Okular. Die erste und zweite Linse wirken zusammen wie eine äquivalente Linse, welche zwischen beiden gedacht wird. Bei der Bestimmung der optischen Eigenschaften des Fernrohrs ist als Brennweite des Okulars diejenige dieser äquivalenten Linse zu Grunde zu legen.

Für die Anwendung der früheren Ausführungen auf zusammengesetzte astronomische Fernrohre ist also der Ort und die Brennweite dieser äquivalenten Linsen zu bestimmen.

7. Die äquivalenten Linsen.

Werden (Fig. 12) zwei Sammellinsen so miteinander kombinirt, dass die Linse 2 mit der Brennweite f_2 zwischen der Linse 1 und deren Brenn-

Fig. 12.



punkt p_1 eingeschaltet wird, so werden die parallel auf 1 auffallenden Strahlen nach p_1 hin gebrochen, fallen aber auf 2 auf und

werden nun nach einem Punkte P hin gebrochen, dessen Ort bestimmt wird durch die Gleichung:

$$\frac{1}{f_2} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \text{ oder } a = \frac{bf_2}{f_2 - b}.$$

P ist der Brennpunkt der äquivalenten Linse mit der Brennweite F. Es verhält sich (Rand- und Achsenstrahlen gleich lang gesetzt wie bei früheren Herleitungen) $\frac{a}{b} = \frac{f_1}{F}$. Der Werth für a hier eingesetzt, ergiebt dann $F = \frac{f_1}{f_2}(f_2 - b)$.

In welchen Abstand d die beiden Linsen von einander gestellt werden müssen, damit die auf 1 parallel einfallenden Strahlen sich im Abstande b hinter 2 vereinigen, findet man, indem man für d einsetzt $f_1 - a$. Dann ist:

$$d = f_1 - \frac{bf_2}{f_2 - b}.$$

Ist d gegeben, so findet sich:

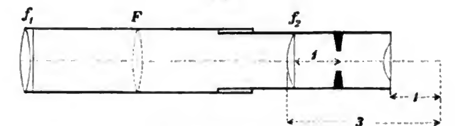
$$b = \frac{(f_1 - d) f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

und die äquivalente Brennweite

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}.$$



Fig. 13.



Huyghenssches Okular.

Wenn beim Huyghensschen Okular (Fig. 13) f_1 die Brennweite des Objektivs, f_2 die Brennweite des Kollektivs bezeichnet, so ist

$$b = \tfrac{1}{3} f_2 \text{ und}$$

$$F = \frac{f_1}{f_2}(f_2 - \tfrac{1}{3} f_2) - \tfrac{2}{3} f_1 \text{ (Objektiv).}$$

Bei dem Ramsdenschen Okular hat man zur Kombination der beiden Okularlinsen für die hintere Linse f_1, für die vordere f_2 zu setzen, da der Vereinigungspunkt der Strahlen vor der vorderen Linse liegt,

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{5}{9}; \quad \frac{f_1}{d} = \frac{5}{4},$$

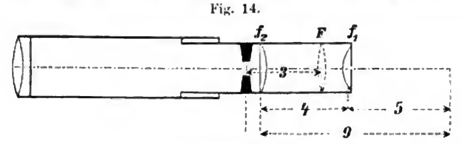
daraus ergiebt sich für die äquivalente Brennweite $F = \frac{9}{10} f_1$ (Okular). Vergleicht man die Resultate, so ergiebt sich: dem Ramsdenschen Okular ist äquivalent ein Okular mit verringerter Brennweite, dem Huyghensschen Okular ein Objektiv mit verringerter Brennweite.

Daraus ergeben sich die relativen Werthe für die Vergrösserung v, das derselben umgekehrt proportionale Gesichtsfeld α und die dem Quadrat der Vergrösserung umgekehrt proportionale Helligkeit H

	v	α	H
für das einfache Okular	1	1	1
für das Huyghenssche Okular	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{9}{4}$
für das Ramsdensche Okular	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{10}$	$\frac{81}{100}$

Die Fernrohre mit Huyghensschem Okular haben also das grösste Gesichtsfeld und die grösste Helligkeit, während das Ramsdensche Okular

Fig. 14.



Ramsdensches Okular.

(Fig. 14) in diesen Eigenschaften zurücksteht und nur eine wenig erhöhte Vergrösserung dagegen bietet. Wo es angängig ist, wird daher das Huyghenssche Okular angewendet. Nur wo es sich um Beobachtungen an mehreren Fäden handelt, ist das Ramsdensche Okular allein anwendbar, weil das Huyghenssche Okular die sphärischen Abweichungen für das Bild des Fadenkreuzes nicht beseitigen kann, während das Ramsdensche Okular für Objekt und Fäden eine einheitliche Bildfläche entwirft. (Siehe Fadenkreuz.)

8. Das Fadenkreuz.

Das astronomische Fernrohr erhält seine grosse Bedeutung als Messinstrument wesentlich durch das in demselben angebrachte Fadenkreuz. Der Ort der Entstehung des reellen Objektivbildes wird durch das Okular in der deutlichen Sehweite des Auges erblickt. Wenn man also im Fernrohr da, wo das Bild entsteht, feine Fäden spannt, so werden diese im Fernrohr in derselben Entfernung erscheinen wie das Bild selbst. Durch zwei sich kreuzende Fäden, welche am Ort der Bildentstehung auf einem in die Okularröhre eingesetzten Rahmen ausgespannt sind, ist ein Punkt in dem Bilde vollständig fixirt. Aendert sich der Ort des Schnittpunktes der Fäden in dem Bilde, so ist entweder die optische Axe des Fernrohrs in ihrer Richtung geändert oder das anvisirte Objekt hat sich verschoben. Man hat also ein Mittel durch Bestimmung dieser Aenderung der Fernrohraxe, einen Winkel zwischen zwei festen Punkten oder die Bewegung eines fortschreitenden Punktes zu messen.

Befindet sich das Fadenkreuz nicht genau in der Ebene der Bildentstehung, so erscheint es nicht in derselben Entfernung mit dem anvisirten

Objekt. Die Folge davon ist, dass es sich auf dem Bilde zu bewegen scheint, wenn man das Auge bewegt. Die Winkelabweichung, welche entsteht, wenn man bei fehlerhafter Stellung des Fadenkreuzes das Auge seitlich bewegt, nennt man Parallaxe des Fadenkreuzes. Dieselbe wird durch Verschieben der Okularröhre und des Okulars in derselben beseitigt. Das Fadenkreuz liegt dem Objektiv zu fern, wenn es der Bewegung des Auges folgt; dann muss die Okularröhre etwas mehr hineingeschoben und das Okular um dieselbe Distanz wieder aus der Okularröhre hinausgezogen werden. Das Fadenkreuz liegt dem Objektiv zu nahe, wenn es sich der Bewegung des Auges entgegengesetzt auf dem Bilde verschiebt; die Okularröhre muss also ausgezogen und das Okularglas in die Röhre eingeschoben werden. Die Linie, welche das anvisirte Objekt mit dem Schnittpunkt des Fadenkreuzes verbindet, ist die Kollimationsaxe des Fernrohrs. Dieselbe muss nahe mit der optischen Axe zusammenfallen. Da man aber die optische Axe des Fernrohrs in der Regel in ihrer Befestigungslage bei Messinstrumenten nicht so bequem und genau reguliren kann, so wird der Rahmen des Fadenkreuzes mit zwei oder vier Korrektionsschrauben versehen, welche seitlich aus dem Okularrohr mit ihren Köpfen hervorsehen (Fig. 15) und gestatten, entweder die Kollimationsaxe mit der optischen Axe in Uebereinstimmung zu bringen oder statt der fehlerhaften Richtung der optischen Axe eine genaue und von der optischen Axe abweichende Kollimationsaxe herzustellen. Damit das Fadenkreuz bei der Korrektur in derselben Ebene bleibt, drücken die Schrauben gegen

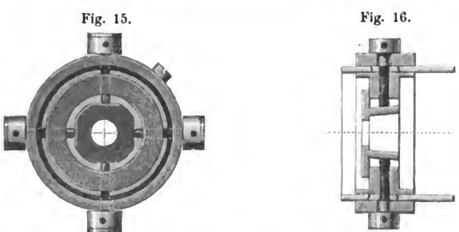


Fig. 15. Fig. 16.

konische Flächen, so dass der Rahmen stets an das Diaphragma fest anliegt (Fig. 16).

Um die relative Lage des Fadenrahmens gegen das Okular korrigiren zu können, findet sich bei grösseren Messfernrohren noch die Einrichtung, dass der Rahmen in der Okularröhre nicht fest ist, sondern durch Verbindung mit einem aussen um diese Röhre liegenden Druckring festgesetzt wird (Fig. 15). Dieser Ring wird mittelst einer Druckschraube festgesetzt. Für die Korrektionsschrauben des Rahmens hat das Okularrohr dann längliche Ausschnitte.

9. Das Fadennetz.

Bei Spiegelinstrumenten sieht man die beiden Punkte, zwischen welchen man einen Winkel messen will, zugleich im Fernrohr. Es bedarf daher hier eines eigentlichen Fadenkreuzes nicht. Um aber die Berührung beider Punkte nahe in der Fernrohraxe zu beobachten, ist statt dessen ein Fadennetz ausgespannt, welches die Lage der Bilder erkennen lässt. Ohne ein solches Fadennetz würde man bei der Beobachtung mit dunkelen Vorschlaggläsern (z. B. der Sonne im künstlichen Horizont) nicht im Stande sein, die Berührung richtig centrisch einzustellen. Ein solches Fadennetz kann also erheblich gröber angefertigt werden als das Fadenkreuz, welches einen Punkt zu fixiren bestimmt ist. Das Fadennetz der Spiegelinstrumente wird in der Regel aus Silberfäden hergestellt, welche in einer Blendung des Okularauszuges befestigt werden. Die Gleichmässigkeit der Fäden und ihre genaue Auseinanderstellung ist erforderlich, um mit Hülfe derselben die Parallelstellung der Fernrohraxe mit der Instrumentenebene prüfen zu können.

Das Fadenkreuz feststehender Messinstrumente wird der zu erzielenden Genauigkeit halber aus Spinnefäden hergestellt. Spinnefäden sind der Veränderlichkeit durch den Einfluss der Feuchtigkeit ausgesetzt; es kommt daher wohl vor, dass sie schlaff werden. Bei der grossen Verletzlichkeit der Spinnefäden sind Staubtheilchen, die sich etwa bei einer Reinigung des Fernrohrs auf ihnen festgesetzt haben, schwer zu entfernen, kurz, ein Fadenkreuz bedarf sorgfältiger Schonung, und man muss, wenn kein Mechaniker in der Nähe ist, in der Lage sein, Fäden selbst erneuern zu können. Zu diesem Zweck ist es rathsam, dem Instrument einen Spinnenkokon beizugeben, von welchem sich leicht geeignete Fädchen abwickeln lassen. Das Verfahren selbst ist sehr einfach:

Wenn man einen Faden aufspannen will, so legt man den Rahmen horizontal vor sich hin; an die beiden Enden des Fadens klebt man mit Wachs kleine Gewichte (ein kleines Schrotkorn beispielsweise). Der Faden wird dann so über den Rahmen gelegt, dass die Gewichte an beiden Seiten herunterhängen; um ihn noch straffer zu spannen, feuchtet man ihn an. Mit Hülfe einer Lupe und einer Stecknadel verschiebt man nun den Faden so lange, bis er in die Furche fällt, welche im Metall des Rahmens für ihn auf beiden Seiten eingeritzt ist. Das Festkleben geschieht dann durch Auftröpfeln eines Tropfens Schellack oder schnell trocknenden Firniss. Die beiden Enden des Fadens darf man aber nicht eher abschneiden, als bis diese Tropfen vollständig eingetrocknet sind.

Der vorbezeichneten Uebelstände wegen hat man in Stelle der Spinnefäden Fadenkreuze und Netze auf einer dünnen Glasplatte eingeschnitten und diese Glasplatte an die Stelle des Fadenrahmens eingesetzt. Die Linien auf Glas lassen sich in beliebiger Feinheit und Genauigkeit herstellen.

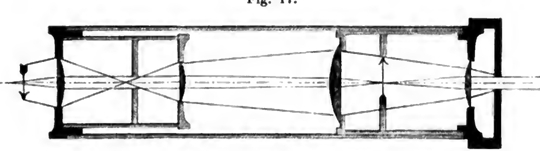
Die Verbindung eines Fadenkreuzes mit dem Galileischen Fernrohr ist deshalb nicht möglich, weil in diesem ein reelles Bild nicht entsteht, vielmehr die vom Objektiv konvergirenden Strahlen vorher vom Okular aufgefangen werden. Wo also ein derartiges Fernrohr bei Messinstrumenten Verwendung findet, geschieht es niemals zur genaueren Einvisirung, sondern lediglich zum deutlicheren Beschauen des einzuvisirenden Objekts.

§ 3. Das terrestrische Fernrohr.

Das terrestrische Fernrohr unterscheidet sich in seiner Wirkung vom astronomischen dadurch, dass es aufrechte Bilder giebt. Das terrestrische Fernrohr geht aus dem astronomischen hervor, indem zwischen Objektiv und Okular eine dritte Linsenkombination eingeschaltet wird, welche von dem reellen umgekehrten Bilde des Objektivs ein reelles aufrechtes Bild vor dem Okular entwirft. Die Umkehrung geschieht entweder durch zwei oder durch drei Linsen. Man bezeichnet diese Systeme als dreifache und vierfache terrestrische Okulare. Das vierfache Okular ist fast allgemein für terrestrische Fernrohre im Gebrauch. Dasselbe ist aus vier plankonvexen Linsen zusammengesetzt, von denen die beiden dem Auge nächstliegenden dem Auge, die beiden dem Objektiv nächstliegenden dem Objektiv die plane Seite zuwenden. Die Auseinanderstellung der vier Linsen ist unveränderlich. Dieselbe ist aber nicht nach so einfachen Regeln wie bei den Doppelokularen bestimmt, vielmehr je nach der Brennweite der Linsen verschieden.

Der Gang der Strahlen ist aus der Figur 17 ersichtlich.

Fig. 17.



Vierfaches terrestrisches Okular.

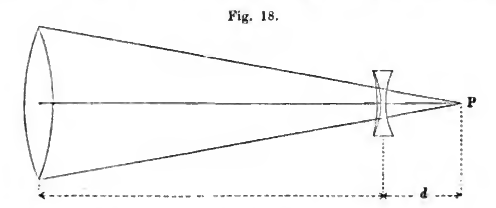
Dieses Okular kann auch bei Messinstrumenten Verwendung finden. Das Fadenkreuz wird dann zwischen der dritten und vierten Linse eingezogen im Brennpunkte des eigentlichen Augenglases, wo das reelle aufrechte Bild entsteht.

§ 4. Das Galileische Fernrohr.

Das Galileische oder holländische Fernrohr besteht aus einer Sammellinse als Objektiv und einer Zerstreuungslinse als Okular. Diese Zerstreuungslinse wird zwischen dem Objektiv und dessen Brennpunkt an-

gebracht. Es entsteht also überhaupt kein reelles Bild. Die Gleichungen, welche die relative Lage des Objektivs und des Okulars bestimmen, sind dieselben wie beim astronomischen Fernrohr, wobei man sich zu erinnern hat, dass bei einer Konkavlinse die Brennweite stets ein negatives Vorzeichen erhält. Das Bild würde also hinter dem Objektiv entworfen werden in Punkt P, in der Entfernung $e = \frac{FE}{E-F}$. Damit man ein ver-

Fig. 18.



grössertes virtuelles Bild in der deutlichen Sehweite des Auges erblickt, muss das Okular vom Punkt P abstehen um $d = -\frac{fW}{W-f}$.

Für parallel einfallende Strahlen gelten dieselben Betrachtungen wie beim astronomischen Fernrohr, aus welchen hier hervorgeht, dass der Abstand des Okulars vom Objektiv gleich ist der Differenz der Brennweiten.

Die Vergrösserung ist ebenso wie beim astronomischen Fernrohr gleich dem Quotienten der beiden Brennweiten. Ebenso reicht die Definition der Helligkeit auch für beide Systeme aus. Da jedoch alle Strahlen hinter dem Okular divergirend austreten, so ist der beste Ort des Auges unmittelbar am Okular, und je weiter das Auge vom Okular entfernt ist, um so weniger Strahlen treten in das Auge ein. Aus diesem Grunde müssen solche Fernrohre weite, zurücktretende Okularfassungen, und nicht wie astronomische Fernrohre Okulardeckel erhalten.

Für die Bestimmung des Gesichtsfeldes ist hier die Bildfläche die Pupille und $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{\varrho}{F-f}$. Das Gesichtsfeld wird also auch hier klein, sobald f gegen F sehr klein wird.

Das Objektiv der Galileischen Fernrohre unterscheidet sich nicht nothwendig von dem der astronomischen.

Das Okular hat in Bezug auf die sphärischen Abweichungen günstigere Krümmungsverhältnisse, und die achromatischen Fehler treten bei schwachen Vergrösserungen nicht zu störend hervor. Man fertigt aber auch aus Flint- und Kronglas zusammengesetzte Okulare für solche Fernrohre an.

§ 5. Die Prüfung der Fernrohre.

Die Prüfung der Fernrohre richtet sich zunächst auf die Vollkommenheit der achromatischen und aplanatischen Herstellung, also auf die Deutlichkeit und Schärfe des Bildes, sodann auf die Bestimmung der Vergrösserung und des Gesichtsfeldes.

1. Untersuchung der achromatischen Güte des Glases.

Wenn man das Fernrohr auf ein recht hell erleuchtetes Objekt richtet, so erhält man bei genauer Einstellung auf den Fokus ein ungefärbtes Bild. Schiebt man das Okular etwas hinein oder zieht man es aus, so zeigt das Bild gefärbte Ränder. Aus der Farbe dieser Ränder kann man auf die achromatische Kombination des Objektivs schliessen. Ist die Kombination so angeordnet, dass die rothen Strahlen mit den violetten gleiche Brennweite haben, so erscheint beim Einschieben ein grüner Saum. Sind aber die Linsen so zusammengesetzt, dass die hellen Strahlen in einem Punkte konvergiren, so erscheint beim Verschieben des Okularauszuges ein violetter, blauer bis grüner Saum. Diese Kombination ist die gewöhnliche. Nicht achromatische Gläser lassen bei jeder Stellung des Okularrohrs alle Regenbogenfarben erkennen; schlecht achromatische zeigen nicht nur dunkele, sondern auch helle Ränder, sobald die Einstellung geändert wird. Die Erscheinung des nicht hellen, sondern tief grünen und blauen Saumes am Objekt beim Verschieben des Rohrs ist ein leicht zu beobachtendes Zeichen, dass die helleren Farben des Spektrums korrigirt sind (vergl. Seite 11).

Bei den besten Fernrohren wird auf die Entfernungen der rothen bis grünen Abweichungen unter Belassung der tieferen Farbentöne hingearbeitet, weil diese tiefen Töne wegen ihrer geringeren Leuchtkraft weniger störend wirken als die hellen.

2. Die Korrektion der sphärischen Abweichung

wird folgendermassen geprüft. Das Objektiv wird mit einem kreisförmigen Papierstück, etwa vom halben Durchmesser, in der Mitte bedeckt und dann genau auf ein scharf begrenztes Objekt eingestellt. Wenn man nun mit einem Papierring, welcher den erstbenutzten Kreis zur ganzen Fläche des Objektivs ergänzt, die Randstrahlen abblendet und die vorher abgeblendeten Centralstrahlen jetzt allein durchlässt, so muss dieselbe Einstellung des Fernrohrs dasselbe scharfe Bild geben. Andernfalls sind die sphärischen Abweichungen nicht genügend ausgeglichen.

Zu den aufgeführten Prüfungen bedient man sich mit Vortheil einer weiss bemalten Holztafel, auf welcher einige schwarze geometrische Figuren aufgetragen sind. Klebt man einen Zeitungsbogen mit verschieden grosser Schrift mit auf die Tafel, so erhält man ein geeignetes Prüfungsobjekt

für die relative Schärfe verschiedener Fernrohre, indem man beobachtet, welche Schrift sie noch deutlich zu trennen vermögen. Verzerrt sich die Schrift theilweise bei gewissen Lagen des Fernrohrs, so ist das Glas des Objektivs nicht homogen.

3. Die Centrirung der Gläser.

Die Güte der Fernrohre hängt zum guten Theil von der vollkommenen Centrirung der Gläser ab, weil diese Forderung der Anwendung aller dioptrischen Gesetze auf das Linsensystem zu Grunde liegt. Ein Fernrohr mit nicht genau centrirten Gläsern erkennt man daran, dass das Bild eines leuchtenden Punktes im Fernrohr seinen Ort verändert, wenn man das Fernrohr in fester Lage um seine mechanische Axe dreht.

Eine Berichtigung der Centrirung muss ebenso wie eine Korrektion der achromatischen Linsensysteme durch den Optiker erfolgen.

4. Bestimmung der Vergrösserung.

Für die ungefähre Bestimmung der Vergrösserung ist schon bei der Definition derselben ein Verfahren angegeben, welches selbst von Ungeübten leicht vorgenommen werden kann. Bei diesem Verfahren des Doppeltsehens ist zu empfehlen, mit demjenigen Auge durch das Fernrohr zu sehen, welches zum Alleinsehen weniger gebraucht wird und deshalb ungeübt ist (in der Regel ist dies das linke Auge).

Ein genaueres Verfahren, die Vergrösserung zu bestimmen, ist das Ramsdensche. Dasselbe besteht darin, den Durchmesser des Ramsdenschen Kreises zu messen und mit dieser Zahl in den ebenfalls gemessenen Durchmesser des Objektivs zu dividiren (siehe Seite 7). Abgesehen davon aber, dass eine genaue Messung des sehr kleinen Ramsdenschen Kreises, welchen man auf ein Blatt Papier auffängt, oder des noch schwächeren gleich grossen hellen Kreises, welcher auf dem Okular erscheint, schwierig ist, wird das Resultat auch fehlerhaft, sobald die Blenden im Fernrohr nicht ganz korrekt gestellt sind und einen Theil der vom Objektiv kommenden Strahlen abschneiden. Man bedient sich daher mit Vortheil eines besonderen Instruments, des Ramsdenschen Dynamometers, welches, auf demselben Princip beruhend, folgende Einrichtungen hat:

Das Dynamometer, wie es von Plössl in Wien verfertigt wird, besteht aus zwei Theilen: 1) einer Lupe mit davor angebrachter Glasplatte, auf welcher ein feiner linearer Massstab eingeschnitten ist. Eine verschiebbare Blendröhre gestattet, die Lupe in der richtigen Entfernung vom Okular zu halten, damit der Ramsdensche Kreis gerade auf die Mikrometerplatte fällt; 2) einem Blech, aus welchem ein bestimmter Theil geradlinig ausgeschnitten ist. Dieses Blech wird dicht vor dem Fernrohrobjektiv befestigt, das Fernrohr darauf in fester Lage gegen einen hellen Hintergrund gerichtet und so eingestellt, dass die Ränder des Blechausschnittes vor dem Objektiv scharf gesehen werden.

Aus dem bekannten Werth der Weite des Blechausschnittes und dem mit dem Mikrometer gemessenen Werth seines Bildes im Ramsdenschen Kreis erhält man die Vergrösserungszahl. Dem Instrument wird eine Tabelle beigefügt, welche die Vergrösserung mit der in der Lupe abgelesenen Zahl direkt zu entnehmen gestattet.

5. Die Bestimmung des Gesichtsfeldes.

Das Gesichtsfeld kann man schätzen, indem man das Fernrohr auf die Mondscheibe oder, mit einem farbigen Glase, auf die Sonnenscheibe richtet und den Durchmesser dieser Scheibe, welchen man aus den Ephemeriden kennt, mit dem ganzen Gesichtsfelde vergleicht. Sind Fäden in dem Fernrohr angebracht, so ist diese Schätzung sehr bequem auszuführen.

Eine direkte Messung wird in der Weise ausgeführt, dass man einen vertikalen Massstab (Nivellirlatte) in genau bestimmter Entfernung vor das Objektiv aufstellt und durch das Fernrohr sehend abliest, welche Länge in unverrückter Lage des Fernrohrs auf einmal übersehen werden kann. Die halbe abgelesene Länge, dividirt durch die Entfernung der Latte vom Objektiv, ist die trigonometrische Tangente des halben Gesichtsfeldes. Die Richtigkeit dieser Methode folgt unmittelbar aus der Definition des Gesichtsfeldes.

§ 6. Vergleich der optischen Eigenschaften der astronomischen und Galileischen Fernrohre.

Vergrösserung und Helligkeit sind bei beiden Systemen gleich für Fernrohre mit gleichen Brennweiten. Das Galileische Fernrohr ist dabei um die doppelte Brennweite des Okulars kürzer. Da das Galileische Fernrohr am einfachsten zusammengesetzt und kürzer ist, so ist die dioptrische Helligkeit grösser als die des astronomischen gleicher Vergrösserung. Sehr verschiedenartig dagegen ist das Gesichtsfeld beider Systeme.

Es soll im Folgenden ein astronomisches (A) und ein Galileisches Fernrohr (G) verglichen werden, beide mit einem Objektiv von 40 mm Durchmesser und 200 mm Brennweite. Eine Vergrösserung = 10 werde für beide gefordert. Es ergiebt sich also eine Okularbrennweite = 20, und es ist die Länge für A mit Huyghensschem Okular 320 mm, für G 180 mm.

Das Gesichtsfeld, nach den gegebenen Definitionen berechnet, $\left(\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = 0{,}3\frac{1}{v}\right.$ für A und $= \frac{e}{F-f}$ für $\left.G\right)$ würde sein für $A = 3^\circ\, 26'$, für $G = 1^\circ\, 12'$.

Die Helligkeit würde für beide Fernrohre gleich errechnet werden. In Wahrheit stellt sie sich aber für das Fernrohr G sehr viel günstiger, namentlich beim Betrachten dunkler Gegenstände.

1. Zunächst ist nämlich das Rohr A fast noch einmal so lang, als das Rohr G. Auf dem Wege in der Röhre geht durch Diffraktion ein sehr erheblicher Theil von dem in das Objektiv einfallenden Licht verloren, und zwar um so mehr, je schwächer das Licht ist. Bekanntlich geht in langen Röhren so viel von dem diffusen Tageslicht durch Diffraktion verloren, dass man durch dieselben Sterne bei Tage sehen kann, was mit einem kurzen Galileischen Fernrohre von geringer Vergrösserung nicht gelingt. Dies ist eine Ursache der grösseren Helligkeit im Fernrohr G.

2. Durch Reflexion an den Linsenflächen der dritten Linse geht im Fernrohr A weiteres Licht verloren.

3. Bei dem Fernrohr A ergiebt sich der Durchmesser des Ramsdenschen Kreises $\frac{40}{10} = 4$ mm, also gleich dem Durchmesser der normalen Pupille. Erweitert sich die Pupille bei Beobachtung dunkler Gegenstände, so wird sie nicht mehr vollständig ausgefüllt, und die Helligkeit nimmt ab. Im Fernrohr G dagegen bleibt die Helligkeit konstant, oder besser, sie passt sich der Grösse der Pupille an. Als ein Hauptvortheil des Sehens durch Galileische Fernrohre ist dieses Anbequemen der Helligkeit an die Aenderung des Pupillendurchmessers zu betrachten. Die Pupille des menschlichen Auges lässt sich durch künstliche Mittel bis auf 10 mm Durchmesser erweitern. In Ermangelung genauer Zahlen wird man ein zum Sehen im Dunkeln bestimmtes Fernrohr für eine Pupillenweite von 8 mm vorsehen müssen.

Das geringe Gesichtsfeld des Galileischen Fernrohrs wird bei den Doppelgläsern ausgeglichen. Der Vortheil des Sehens mit zwei Augen ist für das Auffinden von Gegenständen viel erheblicher, als der eines grossen Gesichtsfeldes. Wo es sich aber um Beobachtungen und Messungen an dunkelen Gegenständen handelt, überwiegen immer noch die Vortheile der astronomischen Fernrohre, deren Vergrösserung dann allerdings sehr beschränkt ist. Sollte das Fernrohr A einen Helligkeitskreis von 8 mm erhalten, so würde sich für das 40 mm weite Objektiv die Vergrösserung 5 ergeben. Um dieses Rohr für Nachtbeobachtungen noch geeigneter zu machen, würde man das Huyghenssche Okular durch ein einfaches ersetzen, und dann eine Länge von 240 mm und einen Gesichtswinkel von $7\frac{1}{2}°$ erhalten, während das Fernrohr G bei dieser Vergrösserung 160 mm lang bei einem Gesichtswinkel von $1\frac{1}{2}°$ werden würde. Das Fernrohr A würde also bei gleicher Helligkeit jetzt den Vortheil eines sehr grossen Gesichtsfeldes gegen das Fernrohr G haben und die Beobachtung an einem Fadennetz gestatten. Für astronomische Beobachtung lichtschwacher Objekte: Kometen, Nebelflecke etc., empfehlen sich daher überall astronomische Fernrohre, für terrestrische Beobachtungen haben Galileische Doppelfernrohre den Vorzug, zumal wenn man sie den terrestrischen Fernrohren gegenüberstellt, welche länger sind und mehr Gläser haben als astronomische.

Aus dem Obigen ergiebt sich, dass die Ausrüstung der Reflexionsinstrumente mit Galileischen Fernrohren für Nachtbeobachtungen

nicht einwandfrei ist. Für diese Beobachtungen kommt es auf ein scharfes Erkennen des Horizonts vor Allem an, was neben unverminderter Helligkeit ein grosses Gesichtsfeld bedingt. Ein astronomisches Fernrohr von dreifacher Vergrösserung mit 24 mm Objektivdurchmesser würde hierzu ein geeignetes Hülfsinstrument sein und die Genauigkeit der Absehlinie, welche beim Galileischen Fernrohr verloren geht, bewahren.

§ 7. Bemerkungen zur Behandlung der Fernrohre beim Gebrauch.

Die Reinigung der Gläser ist nur dann vorzunehmen, wenn dies absolut nöthig ist, da hierbei trotz aller Vorsicht die Oberflächen derselben geritzt oder matt gemacht werden können, oder ihre Krümmung eine Veränderung erleiden kann.

Die Reinigung darf daher lediglich von mit solchen Manipulationen vertrauten Händen ausgeführt werden.

Ein kleiner Fleck auf dem Objektiv, selbst wenn er eine Ausdehnung von mehreren Quadratmillimetern hat, ist beim Sehen durch das Fernrohr gar nicht wahrzunehmen. Der einzige Nachtheil, welchen er verursacht, ist der, dass durch ihn wenig oder kein Licht hindurchgeht; jedoch ist die Quantität des dabei verloren gehenden Lichtes gering. Hat z. B. ein Objektivglas einen Durchmesser von 54 Millimetern, so ist die das Licht durchlassende Fläche 2289 Quadratmillimeter, ein Fleck von 4 Quadratmillimetern würde eine Verminderung des auffallenden Lichts von $\frac{4}{2289}$ verursachen. Kleine Flecken auf den Okulargläsern sind ebenfalls nicht sichtbar. Um Verunreinigungen der inneren Flächen derselben möglichst zu vermeiden, ist es gerathen, das dieselben enthaltende Rohr nicht von dem Fernrohr abzuschrauben. Zum Reinigen der Gläser darf nur solches Material benutzt werden, welches dieselben nicht angreift. Am besten eignet sich hierzu sehr reinlich ausgewaschene, alte, feine und weiche, vor Allem staubfreie Leinwand oder ganz feines weiches, sämisch gegerbtes Ziegenleder. Sehr kleine Linsen reinigt man am besten mit Fliedermark, welches man passend zurechtschneidet und dessen obere Fläche durch häufiges Abschneiden reingehalten wird. Vor dem Abwischen der Gläser sind dieselben stets erst mit einem weichen Haarpinsel von dem trockenen Staub zu reinigen, da derselbe meistens scharf ist und beim Ueberwischen die Glasflächen verkratzt. Erscheinen die Flächen nach dem Ueberwischen noch fettig, so befeuchtet man sie mit Ammoniak und wischt sie darauf mit einem in Spiritus, Aether oder in Ermangelung dessen in Branntwein oder reines Wasser getauchten Leinwandlappen ab, die zurückgebliebenen Fasern werden mit dem Pinsel entfernt. Gläser in lackirten Fassungen dürfen nicht mit Spiritus, Ammoniak oder Aether gereinigt werden, weil diese Flüssigkeiten den Lack auflösen. Hat man die beiden Oberflächen des Objektivs gereinigt, so sieht man durch dasselbe nach dem Licht. Erscheint es dann noch trübe, so kann man die beiden das Objektiv

bildenden Linsen auseinander nehmen (im Falle sie nicht an einander gekittet sind) und einzeln reinigen. Beim Wiederzusammensetzen derselben ist darauf zu achten, dass sie richtig zusammengelegt werden, und es ist daher nöthig, die Linsen nach dem Auseinandernehmen so zu legen, dass man nicht im Zweifel darüber ist, welche Flächen derselben einander berühren müssen. Hat man trotzdem einen Zweifel, so legt man erst die bikonvexe Linse mit der einen Seite in die Höhlung der plankonkaven Linse und dann mit der andern Seite, indem man zusieht, welche Seite am besten in die Höhlung passt. Uebrigens ist das Auseinandernehmen der Linsen häufig die Ursache des Schadhaftwerdens eines Fernrohrs, daher in der Regel bei der Reinigung zu unterlassen.

Beim Wiederzusammenschrauben der verschiedenen Theile des Fernrohres schraubt man erst ein wenig von rechts nach links, bis man fühlt, dass die Schraubengewinde in der richtigen gegenseitigen Lage sind, und schraubt erst dann ganz leise von links nach rechts. Ein Widerstand dabei zeigt an, dass die Gewinde nicht richtig gefasst haben, weshalb der Versuch mit Anwendung von noch grösserer Sorgfalt erneuert werden muss.

Um die Okulargläser zu reinigen, schraubt man erst das ganze Okularrohr ab und dann die äusseren Enden desselben. Hierauf reinigt man jeden dieser Theile, schraubt aber den zweiten Theil nicht eher ab, als bis man den ersten gereinigt und dessen Gläser wieder an ihren Ort gebracht hat. Die Gläser müssen vor dem Einfluss des Seewassers möglichst geschützt werden. Sind sie von diesem nass oder feucht geworden, so müssen sie sorgfältig getrocknet werden, sonst bekommen sie bräunliche Flecke, namentlich wenn sie in nassem Zustande von der Sonne beschienen werden. Auch das lange Liegen in der Sonne sollte man vermeiden, da durch eine ungleichmässige Wärme sich leicht der Kitt bezw. Balsam zwischen den Okulargläsern löst und hierdurch die bekannten Streifen und schillernden Flächen im Okular entstehen.

§ 8. Diopter.

Bedient man sich zum Visiren nicht eines Fernrohrs, so fixirt man die Visirlinie durch ein Diopterpaar. Das dem Auge nächste Diopter, das Okulardiopter, besteht aus einer Platte mit einem kleinen runden Loch oder einem vertikalen Spalt (Okularspalt). Das vom Auge entferntere Diopter, das Objektivdiopter, trägt in einem Rahmen ein Fadenkreuz oder einen vertikalen Faden aus Metalldraht, Haar oder Seide; die Verbindung des Diopterpaares ist je nach dem Gebrauch verschieden. Den Spiegelinstrumenten ist ein Diopterrohr beigegeben, in welches Okularloch und Fadenkreuz eingesetzt sind, oder das letztere auch ganz fehlt. Bei Kompassen ist das Diopterpaar auf einer Alhidade aufgestellt.

Diopter bieten den Vortheil der schnellen Orientirung, da man, durch das Okulardiopter auf den anzuvisirenden Gegenstand hinblickend, diesen

an den Objektivfaden heranbringt, während man mit dem Fernrohr nur ein geringes Gesichtsfeld vor sich hat, in welches das Objekt schnell hineinzubringen es einiger Uebung bedarf.

Dagegen besteht bei Diоptern der grosse Nachtheil, dass der in grösster Nähe gesehene Faden stets störend vor das Bild des Objekts tritt und nicht mit dem letzteren zugleich scharf gesehen werden kann. Diopter finden also Verwendung da, wo es auf schnelles Visiren ankommt oder auf grosse Genauigkeit verzichtet werden kann. Ersteres ist der Fall bei Beobachtungen zur See, wenn der bewölkte Himmel nur zeitweise das Gestirn erkennen lässt, letzteres bei Beobachtungen, welche die Richtung der Magnetnadel als Ausgangspunkt einer Winkelmessung nehmen.

Die Konstruktion der Diopter wird dem praktischen Gesichtspunkte angepasst und die Breite des Okularspalts, sowie die Dicke des Fadens daher für Peilscheiben, Kompasse, Feldbussolen verschieden gewählt.

II. Ablesungsvorrichtungen.

§ 9. Die Lupe.

Die Lupe ist im Allgemeinen nach denselben Gesetzen konstruirt wie das Okular der Fernrohre.

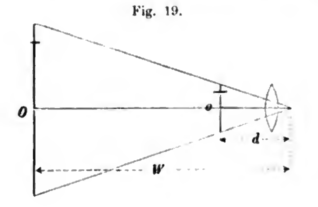
Wenn eine Sammellinse zur Betrachtung eines Objekts vor dem Auge eingeschaltet wird, so erblickt man ein vergrössertes aufrechtes virtuelles Bild, sobald der Abstand des Objekts von der Linse kleiner als deren Brennweite ist. Eine so benutzte Sammellinse nennt man eine Lupe. Damit das Bild deutlich gesehen werde, muss es in der Sehweite des Auges erscheinen. Die Entfernung d (Fig. 19) des Objekts von der Lupe ist also wie beim Fernrohr-Okular

$$d = \frac{f\,w}{w+f}\,.$$

Dabei ist das Auge dicht hinter der Lupe angenommen. Nimmt man den Ort des Auges im Brennpunkt hinter der Linse an, so muss der Abstand des virtuellen Bildes von der Linse um die Brennweite kleiner sein als w. Für w eingesetzt $w-f$ giebt

$$d = f\left(\frac{w-f}{w}\right).$$

Fig. 19.



Der günstigste Ort des Auges liegt zwischen Linse und Brennpunkt, der Abstand d wird dadurch nur unmerklich geändert, z. B. für $w = 250$ mm. $f = 15$ mm nur um 0,1 mm.

Die Vergrösserung (v) der Lupe ist das Verhältniss der linearen Ausdehnung des Objekts (o) zur linearen Ausdehnung des virtuellen Bildes (O). Es ist

$$v = \frac{O}{o} = \frac{w}{d},$$

daher (1) $$v = \frac{w+f}{f},$$

wenn das Auge unmittelbar hinter der Linse,

(2) $$v = \frac{w}{f},$$

wenn das Auge im Brennpunkt hinter der Linse gedacht wird. Die Vergrösserung ändert sich daher gerade um eine Einheit. Bei dem angeführten Beispiel würde sein $v = 18$, bezw. 17.

Es ergiebt sich aus der Formel auch eine stärkere Vergrösserung für Weitsichtige als für Kurzsichtige.

Linsen, deren Brennweite grösser ist als die Sehweite des Auges, können nicht als Vergrösserungsgläser gebraucht werden (nach 2), also beispielsweise Objektive aus terrestrischen Fernrohren in der Regel nicht, wohl aber solche aus gewöhnlichen Doppelgläsern. Für eigentliche Lupen bedient man sich dagegen sehr kurzer Brennweiten, z. B. 10—20 mm für Lupen, welche zu Instrumenten-Ablesungen dienen. Wegen der starken Krümmungen, welche solche Linsen unvermeidlich haben, verdienen Doppellupen den Vorzug, welche nach Art des Ramsdenschen Okulars konstruirt sind.

Kombinirt man z. B. zwei Konvexgläser zu einer Lupe, von denen das vordere eine Brennweite $f' = \frac{2}{3}f$ (f Brennweite des hinteren Glases) hat und wählt den Abstand beider $= \frac{1}{3}f$, so erhält man die Brennweite der äquivalenten Linse nach den Formeln S. 14 $F = \frac{1}{2}f$ und den Abstand der vorderen Linse von der abzulesenden Theilung $< \frac{1}{3}f$.

Die Doppellupen sind aus plankonvexen Linsen zusammengesetzt, deren Konvexflächen sich gegenseitig zugewendet sind. Die sphärischen und chromatischen Abweichungen werden durch diese Anordnung verbessert.

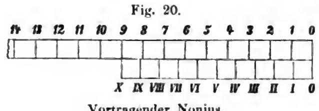
Auch aus zwei oder drei Kron- und Flintglaslinsen kombinirt man nach Art der Fernrohr-Objektive Lupen. Für eine einfache Linse als Lupe ist die beste Form die einer bikonvexen Linse, deren Krümmung auf der vorderen Seite sechsmal stärker ist als auf der Rückseite (siehe Seite 10).

§ 10. Der Nonius.

Der Nonius ist ein an der Theilung des Instruments verschiebbarer Massstab, welcher gleiche Theile zwischen je zwei Theilstrichen zu messen gestattet nach folgendem Princip: Die Theilung des Nonius ist von der Hauptheilung verschieden um denjenigen Bruchtheil, welchen man mit Hülfe des Nonius ablesen will. Sollen Zehntel der Haupttheilung

erhalten werden, so muss die Auseinanderstellung der Theilstriche um $^1/_{10}$ verschieden sein. Entsprechen nun zehn Theile des Nonius neun Theilen der Haupttheilung, und wird der Nullstrich des Nonius genau auf einen Theilstrich der Haupttheilung eingestellt, so giebt der nächste Strich des Nonius $^9/_{10}$ der Hauptskala an; er fällt mit dem nächsten Strich der Haupttheilung zusammen, sobald der Nullstrich um $^1/_{10}$ der Hauptskala vorwärts geschoben wird. Man liest also durch die Koincidenz des ersten Strichs unmittelbar $^1/_{10}$ ab. In dieser Stellung sind der Nullstrich sowohl als der zweite Strich je um $^1/_{10}$ der Hauptskala von den benachbarten Theilstrichen der Haupttheilung entfernt. Bringt man den zweiten Strich zur Deckung, so liest man dadurch unmittelbar ab, dass der Nullstrich um $^2/_{10}$ von einem Strich der Haupttheilung absteht u. s. f. Die Koincidenz des $n$ten Strichs mit einem Strich der Haupttheilung giebt also allgemein an, dass der Nullstrich um $^n/_{10}$ vom rückliegenden Strich der Haupttheilung entfernt ist. Man wählt nun die Theilung des Nonius der Masseinheit entsprechend, so dass mittelst desselben, zum Beispiel an einer Gradeintheilung, Minuten erhalten werden. Die Feinheit der Theilstriche bestimmt die zulässige Ausdehnung des Nonius. Damit niemals zweifelhaft sein kann, welcher Theilstrich des Nonius als koincidirend abgelesen werden muss, ist erforderlich, dass die Dicke des Striches weniger beträgt als der abzulesende Bruchtheil.

Fig. 20.



Vortragender Nonius.

Fällt kein Theilstrich des Nonius mit einem Strich der Theilung genau zusammen — was man am schärfsten erkennt, wenn man die Stellung der beiden dem best-koincidirenden benachbarten Striche vergleicht —, so werden kleinere Bruchtheile geschätzt.*) Eine solche Schätzung lässt sich mit besserem Erfolge vornehmen, als die Ablesung an einem zu fein getheilten Nonius.

Als ungefähre Grenze praktisch brauchbarer Theilungen kann man annehmen, dass bei der Beobachtung mit blossem Auge eine Verschiebung des Nonius um $^1/_{30}$ mm bequem messbar ist, bei der Beobachtung mit Lupen eine um so viel kleinere Verschiebung als die Vergrösserung durch die Lupe beträgt (nach Karsten, „Vom Mass und Messen").

1. Prüfung des Nonius.

Die genaue Theilung des Nonius lässt sich untersuchen, indem man nacheinander die Theilstriche desselben mit ein und demselben Theil-

*) Um auch den Nullstrich auf diese Weise scharf einstellen zu können, ist in der Regel eine Uebertheilung über den Nullstrich hinaus vorhanden.

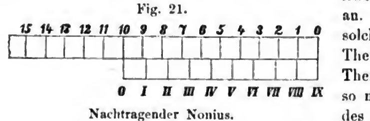
strich der Haupttheilung zur Koincidenz bringt. Man beobachtet dann jedesmal die benachbarten beiden Noniusstriche und erkennt, ob diese gleich weit von den benachbarten Strichen der Haupttheilung entfernt bleiben. Von der Richtigkeit des ganzen Nonius überzeugt man sich, indem man den Nullstrich desselben mit verschiedenen gleichmässig über die Haupttheilung vertheilten Strichen koincidiren lässt und beobachtet, ob der Endstrich des Nonius dann ebenfalls immer mit einem Theilstrich der Haupttheilung zusammenfällt, oder ob eine konstante Differenz vorhanden ist. Eine ungleichmässige Differenz würde auf Theilungsfehler in der Haupttheilung, eine periodisch wachsende und abnehmende Differenz bei Kreistheilungen auf Excentricität der den Nonius tragenden Alhidade deuten.

Besonders wesentlich ist es, dass der Nonius sich parallel resp. koncentrisch an der Haupttheilung bewegt, dass er nicht schlottert und dass er scharf genug anliegt, um bei einer Bewegung des Auges keine Parallaxe erkennen zu lassen.

2. Nachtragender Nonius.

Die im Vorstehenden beschriebene Einrichtung des Nonius erfordert, dass die Haupttheilung mindestens um die Länge des Nonius weiter geführt ist, als sie für den eigentlichen Gebrauch der Skala erforderlich sein würde. Es kommen aber Konstruktionen vor, bei welchen dadurch das ganze Instrument vergrössert werden müsste, während in der Richtung negativ vom Nullstrich der Haupttheilung Platz genug ist. Dies ist z. B. bei Barometern der Fall. Man wendet in solchen Fällen den nachtragenden Nonius an. Entsprechen bei einem solchen beispielsweise neun Theile des Nonius zehn Theilen der Haupttheilung, so müssen die Theilstriche des Nonius von ihrem Nullstrich rückwärts gezählt werden, denn jeder nächstfolgende Noniusstrich kommt zur Koincidenz, wenn der vorangehende um $^1/_{10}$ über seine Koincidenz hinausgerückt ist.

Fig. 21.



Nachtragender Nonius.

§ 11. Mikroskopische Ablesung.

Bei allen grösseren geodätischen und astronomischen Instrumenten wendet man statt der Nonien Fadenmikrometer in Verbindung mit Mikroskopen an. Dieselben bedürfen einer feineren Behandlung, gestatten aber eine schnelle und sichere Ablesung und strengen die Augen weniger an als die Ablesung feiner Nonien. Das zur Anwendung gelangende Princip ist folgendes:

Eine mit der Alhidade fest verbundene Indexmarke bezeichnet die Einstellung an der Theilung. Der Abstand dieser Marke von den benachbarten Theilstrichen wird gemessen durch die Zahl der Umdrehungen einer Schraube, mittelst welcher ein Fadenkreuz von der Indexmarke zum Theilstrich auf der Theilung entlang bewegt wird. Diese Einrichtung ist mit einem Mikroskop kombinirt, in dessen Gesichtsfeld die Indexmarke und das Fadenkreuz in gleicher Ebene mit der Theilung erscheint. Die Ablesung der Zahl der Schraubenumdrehungen erfolgt für die ganzen Umdrehungen im Mikroskop an einer mit der Indexmarke verbundenen Skala, dem Rechen; für die Bruchtheile der Umdrehungen ist der Schraubenkopf getheilt. Für kleinere Instrumente entspricht eine Schraubenumdrehung dem Abstand zweier Theilstriche, so dass der Rechen wegfällt und nur die Ablesung am Schraubenkopf zu machen ist.

1. Beschreibung.

Unter den verschiedenen Anordnungen dieser Konstruktion wird im Folgenden diejenige beschrieben, welche an den kleinen Universalinstrumenten nach Pistors Konstruktion in Anwendung gebracht ist.

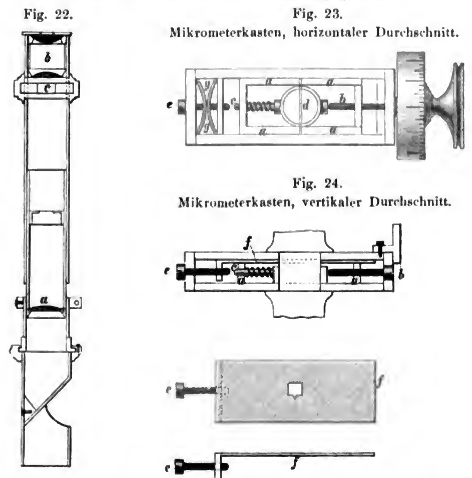


Fig. 22.

Fig. 23. Mikrometerkasten, horizontaler Durchschnitt.

Fig. 24. Mikrometerkasten, vertikaler Durchschnitt.

Das Mikroskop selbst ist von einfacher Konstruktion. Eine Messingröhre (Fig. 22) trägt unten die starkgekrümmte Objektivlinse (*a*), oben einen

Okularauszug (*b*), in welchem ein zusammengesetztes Okular (nach Art des Ramsdenschen der Fernrohre) eingesetzt ist. Zwischen beiden, an dem Orte des umgekehrten reellen Bildes, ist die Messingröhre durchgeschnitten und der Mikrometerkasten (*c*) eingeschaltet.

In diesem Kasten gleitet ein Schlitten (*a*) (Fig. 23 und 24), welcher vermittelst der Schraube (*b*) bewegt wird. Durch eine auf den Führungsstift (*c*) gestreifte Spiralfeder wird jeder todte Gang aufgehoben. Der Schlitten trägt einen Doppelfaden (*d*), welcher hier die Stelle des Fadenkreuzes vertritt. Der Schraube *b* gegenüber ist eine Korrektionsschraube *e* am Kasten angebracht, welche dazu dient, die Indexplatte *f* zu reguliren. Die Indexplatte, welche, um nahe in derselben Ebene mit dem Faden zu liegen, aus dünnem Metallbleche hergestellt ist, hat einen Ansatz, in welchen diese Schraube (*e*) eingreift, während zwei federnde Stahlplättchen (*g*) die Führung der Bewegung durch die Schraube sichern.

Die Mikrometerschraube (*b*) ist der wichtigste Theil des Apparats. Dieselbe trägt eine Trommel mit Theilung zur Ablesung der Einstellung und einen Kopf zum Drehen.

2. Die Ablesung.

Eine Ablesung an dem der vorstehenden Beschreibung zu Grunde gelegten Instrumente wird das zu beobachtende Verfahren erläutern. Jeder Theilstrich auf der Kreistheilung giebt 10 Minuten an, die Trommel der Schraube ist in 30 Theile getheilt, also wird direkt auf 20 Sekunden genau abgelesen.

Nachdem eine Visur mittelst des Fernrohrs angestellt ist, liest man am Limbus neben dem Mikroskop ab, dass der Werth zwischen 80° und 90° liegt, und findet, indem man durch das Mikroskop sieht, dass die Indexmarke zwischen 83° 50′ und 84° steht. Wenn der Doppelfaden auf die Indexmarke eingestellt ist, giebt die Trommel 0 an. Man bewegt nun den Doppelfaden vermittelst Drehung des Schraubenkopfes auf den Theilstrich 83° 50′ zu, bis dieser Theilstrich zwischen beiden Fäden nach Schätzung genau in der Mitte liegt. Man liest dann auf der Trommel ab: 3′ 20 und schätzt den Abstand des jetzt zwischen 20 und 40 befindlichen Index der Trommel auf $^1/_4$ von 20 aus gerechnet, die Ablesung ist also zusammen 83° 53′ 25″.*)

Zur Kontrole kann man nun noch die Einstellung des Doppelfadens auf den andern Nachbarstrich, also 84° 0′, vornehmen. Die Trommelablesung muss hier denselben Werth ergeben, wenn der Abstand zweier Theilstriche des Limbus einer Trommelumdrehung entspricht. Weicht sie

*) An dem Instrument sind die Trommeltheile zwischen den vollen Minuten statt mit 20 und 40, mit 10 und 20 bezeichnet. Dies hat den Zweck, durch Addition der an diametral gegenüberstehenden Mikroskopen beobachteten Ablesungen sogleich den Mittelwerth zu erhalten.

ab, so darf nicht das Mittel genommen werden, sondern es ist der Werth der Trommeltheile in Rechnung zu bringen (siehe das Folgende).

Die mikroskopische Ablesung hat den für feine Messungen wichtigen Vorzug, in grösstem Masse von Instrumentenfehlern unabhängig zu sein. Die Indexpunkte — Indexmarke im Gesichtsfelde und Nullpunkt der Trommeltheilung — können leicht verschoben und zur Uebereinstimmung gebracht werden. Die Verstellung der Indexmarke — durch Bewegung der Schraube *e* — benutzt man, um die Ablesung mehrerer Mikroskope an derselben Theilung zur Uebereinstimmung zu bringen, d. h. eine konstante Differenz derselben zu beseitigen Die Trommel ist nur durch Reibung auf der Schraube fest und wird auf Null eingestellt, wenn Doppelfaden und Indexmarke im Gesichtsfeld zusammentreffen. Da sich der Massstab des Bildes durch Nähern oder Entfernen des Mikroskops von der Theilung und durch Aenderung der Auseinanderstellung von Objektiv und Okular ändert, so gilt ein Trommeltheil nur für eine bestimmte Stellung des Mikroskops. Nach jeder Verschiebung desselben ist der Werth neu zu bestimmen. Bei Beobachtungen, die sehr grosse Genauigkeit erfordern, wird überhaupt nicht der an der Trommel verzeichnete Werth, sondern allgemein der durch die Beobachtung bestimmte Werth eines Trommeltheils dem Ablesungsresultat zu Grunde gelegt.

Man misst auf verschiedenen, gleichmässig auf der Theilung zu wählenden Orten den Abstand zweier Theilstriche mittelst der Mikrometerschraube. Beträgt auf dem Limbus des vorliegenden Universalinstruments der Werth eines Theilstrichs 10' und erhält man aus einer Reihe von Mikroskop-Ablesungen denselben im Mittel zu 30,4 Trommeltheilen, so ist ein Trommeltheil $= \frac{10 \cdot 60}{30{,}4} = 19{,}74$ Sekunden. Hieraus kann für die Trommel dann eine Ablesungstafel berechnet werden, in welcher neben jeder auf der Trommel zu findenden Ablesung die Korrektion oder auch gleich die korrigirte Ablesung gesetzt ist.

3. Ablesung vorwärts und rückwärts.

Wenn man den Werth eines Skalentheils nicht kennt, so erhält man denselben bei jeder Beobachtung, indem man beide benachbarte Theilstriche abliest.

Zum Beispiel man liest ab:

Rückliegender Theilstrich (Theilstrich
links vom Index) . . . . 83° 50' + 10,3 Skalentheile der Trommel,
Theilstrich rechts vom Index . . . 84° 0' — 20,2 „ „ „
Daraus ergiebt sich 10' = 30,5 Trommeltheile, oder 10,3 Trommeltheile = 3' 22,8".
Daher reducirte Ablesung (nicht Mittel der Ablesungen) 83° 53' 22,8".

Wenn man so verfährt, so ist man auch unabhängig von den Fehlern der Schraube. Durch die beschriebene Einstellung auf beide benachbarte Theilstriche ist der Abstand derselben nach Skalentheilen auf der Trommel gemessen, und bei der Reduktion der zwischenliegenden

Ablesung ist nur vorausgesetzt, dass für die eine Schraubenumdrehung der Schraubengang gleichmässig vorrückt. Für die Reduktion dieser Ablesung kann man eine Tafel entwerfen, welche für die Argumente Ablesung der Trommel und Differenz zwischen Ablesung vorwärts und Ablesung rückwärts in Zehntel-Skalentheilen die Korrektion giebt.

Für ein Universalinstrument, dessen Trommeln in dreissig Theile getheilt und mit der Bezifferung **0** 10, 20 **1** 10, 20 **2** u. s. f. bis **9**, 10, 20 versehen sind (eingerichtet für Addition der gegenüberstehenden Sekundenablesungen) gilt folgende Korrektionstabelle:

Korrektion der mikroskopischen Ablesung bei Ablesung vorwärts und rückwärts.

Differenz der Ablesungen.

Ablesung	1	2	3	4	5	6	7
10	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
20	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5
1 0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
10	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9
20	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2
2 0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
10	0,2	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,6
20	0,3	0,5	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9
3 0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1
10	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3
20	0,4	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6
4 0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
10	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,0
20	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8	3,3
5 0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
10	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7
20	0,6	1,1	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0
6 0	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2
10	0,6	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,4
20	0,7	1,3	2,0	2,7	3,3	4,0	4,7
7 0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9
10	0,7	1,5	2,2	2,9	3,7	4,4	5,1
20	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4
8 0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6
10	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8
20	0,9	1,7	2,6	3,5	4,3	5,2	6,1
9 0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3
10	0,9	1,9	2,8	3,7	4,7	5,6	6,5
20	1,0	1,9	2,9	3,9	4,8	5,8	6,8
10 0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0

Mikroskop I. Ablesung rückwärts 83° 53′ 13″ } Differenz 5.
Ablesung vorwärts 8″

Mit dem Argument Ablesung 3,10 und Differenz 5 findet man in der Tafel 1,7, und die reducirte Ablesung wird 83° 53′ 13″ — 1,7″ = 83° 53′ 11,3″.

Mikroskop II. Ablesung rückwärts 83° 53′ 9″ } Differenz 3.
Ablesung vorwärts 12″

Reducirte Ablesung 83° 53′ 9″ + 1″ = 83° 53′ 10,0

Mittel beider Ablesungen . . . 83° 53′ 21,3.

III. Horizontir-Vorrichtungen.

§ 12. Das Niveau (Libelle).

Das Niveau (Libelle) ist ein Hülfsinstrument, welches entweder zur Bestimmung einer horizontalen Linie oder einer Fläche dient und eine geringe Abweichung von der horizontalen Lage misst. Man wendet Dosenlibellen und Röhrenlibellen an. Bei beiden ist das Princip dasselbe. Ein gewölbtes Glasgefäss ist mit einer Flüssigkeit gefüllt, welche den Raum desselben nicht ganz ausfüllt, so dass der höchste Theil des Gefässes durch die Mitte einer Luftblase bezeichnet wird. Zur Füllung wird Weingeist oder Schwefel- resp. Benzinäther verwendet. Aether ist am empfindlichsten, verdampft aber schon bei 36° und zeigt daher Blasen von sehr veränderlicher Länge. Das Libellengefäss wird mit der über die vorkommenden Lufttemperaturen hinaus erwärmten Flüssigkeit ganz ausgefüllt und verschlossen. Die Flüssigkeit zieht sich bei der Abkühlung zusammen, und der freie Raum füllt sich dabei mit dem Dampf dieser Flüssigkeit. Auf diese Weise ist bewirkt, dass bei Erwärmung und Abkühlung des Instruments keine Spannungen durch Ausdehnung und Zusammenziehung der Flüssigkeit stattfinden können, während die geringe Adhäsion dieser Flüssigkeiten eine grosse Empfindlichkeit gewährleistet.

Die Grösse der Blase ist dabei veränderlich, und um diese bei feineren Libellen zu reguliren, ist eine Kammer angebracht, in welche man durch starkes Neigen des Instruments und durch leichtes Klopfen mit dem Finger einen Theil der Luft ein- bezw. austreten lassen kann.

An der Innenwand aller Libellen-Glasröhren setzen sich früher oder später kleine Körnchen an, welche die Beweglichkeit der Blase hemmen und die Ablesung unsicher machen. Man kann mittelst der Lupe die Körnchen bei passender Beleuchtung an den Stellen, wo die Blase steht, leicht erkennen. Die Libelle muss dann ausgewischt und frisch gefüllt werden, was jedoch nur ein hierin geübter Mechaniker ausführen kann.

1. Die Dosenlibelle

wird für gröbere Messungen angewendet. Sie besteht aus einem cylindrischen Messinggefäss mit plankonkavem Glasdeckel. Auf dem Glase sind ein oder mehrere koncentrische Kreise kenntlich gemacht, mittelst deren man die centrische Stellung der Luftblase schätzen kann. Der untere Rand des Messinggefässes muss zur Axe der Libelle vollkommen normal sein, da man durch einfaches Aufsetzen der Dosenlibelle die horizontale Lage der Ebene unmittelbar bestimmen will. Die Axe der Libelle ist zur unteren Randebene vertikal, wenn die centrische Stellung der Blase sich beim Drehen der Dose auf einer ebenen Platte nicht verändert. Eine Korrektur lässt sich in der Regel am Instrument nicht vornehmen.

2. Die Röhrenlibelle

bestimmt zunächst nur die horizontale Lage einer Linie. Will man eine Ebene horizontal stellen, so muss man die Libelle in zwei um 90° verschiedenen Richtungen zum Einspielen bringen.

Das Glasgefäss der feinen Röhrenlibellen ist innen tonnenförmig ausgeschliffen, eine Form, welche man sich aus der Umdrehung eines sehr flachen Kreisbogens um seine Sehne entstanden denken kann. Auf der Aussenseite des die Libelle umhüllenden Gefässes ist eine Theilung angebracht, an welcher man die Stellung der beiden Enden der Blase abliest und so den Ort des Blasenmittelpunktes findet. Ein solches Glasgefäss wird in einer Messinghülse befestigt und diese mit Einrichtungen versehen zur Verbindung mit der horizontal zu stellenden Linie oder Ebene.

Damit die Axe der Libelle senkrecht zu der Axe der umhüllenden Metallröhre gestellt werden kann, müssen Korrektionsvorrichtungen an der Libellenfassung vorhanden sein. Dieselben bestehen in Vertikal- und Horizontalschrauben, und zwar finden sich immer zwei korrespondirende Schrauben zum vollständigen Festhalten des Glasgefässes in seiner Fassung, von denen die eine gelöst und gleichzeitig die andere angezogen werden muss.

Die neuerdings von Reichel und in ähnlicher Weise auch von Bamberg konstruirte Libellenfassung ist zwar bei den in Gebrauch befindlichen Instrumenten noch nicht allgemein angewendet, das Princip derselben — doppelte Umhüllungsröhren und eine eigenthümliche Lagerung, bei welcher die innere Röhre nur mit ihren beiden Enden, und zwar auf der einen Seite mittelst einer Kugel, auf der andern Seite mittelst eines Vierkants mit dem äusseren Rohr in Berührung steht — hat jedoch durch möglichste Unabhängigkeit von Temperatureinflüssen und von dem äusseren Rohr so offenbare Vortheile, dass ähnliche Konstruktionen bei allen neuen Instrumenten Eingang finden werden, und sind daher ältere Konstruktionen hier nicht berücksichtigt.

a. Die Reichelsche Libelle.*) (Fig. 25.)

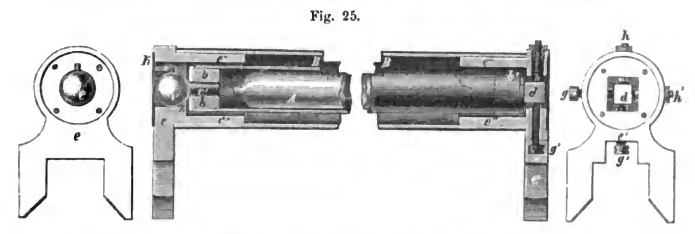
Die innere Fassungsröhre, in welcher das Glasrohr A (Fig. 25), die eigentliche Libelle, in oben beschriebener Weise befestigt ist, wird an dem einen Ende durch den Stöpsel b, an dem andern Ende durch den Stöpsel b' geschlossen. In den Stöpsel b ist die Kugel c mit ihrem Schraubenzapfen c' fest eingeschraubt, in den Stöpsel b' der quadratisch prismatische Stahlkörper d mit seinem konischen Zapfen so befestigt, dass zwei seiner ebenen Prismenflächen horizontal liegen.

Die Füsse e und e' sind mit ihren röhrenförmigen Ansätzen e'' und e''' in die Enden der äussern Röhre B gepasst und mit derselben in

*) Zeichnung und Beschreibung sind dem „Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879“ entnommen.

üblicher Weise verschraubt. In den Fuss *e* ist ferner von der äussern Seite eine cylindrische Vertiefung gedreht, die nach innen in einer Kugelzone *z* endigt, durch welche der Zapfen *c'* mit Spielraum hindurchgeht,

Fig. 25.

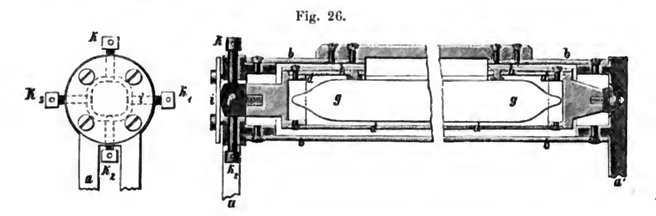


während die Kugel *c* gegen die Zone durch die von aussen vorgeschraubte federnde Platte *k* gedrückt wird. Zur Verhinderung der Drehung der innern Fassungsröhre um ihre Axe ist endlich ein Stift bestimmt, welcher in die Kugel radial und rechtwinklig zur Axe der Libelle eingebohrt ist und zugleich in einen durch das Metall von *e* führenden passenden Schlitz greift. Zur Korrektur der Libellenaxe gegen die Aufsatzflächen der Füsse sind die beiden, die Axe der Röhre *B* rechtwinklig schneidenden Schrauben *g* und *g'* und die denselben entgegenwirkenden federnden Bolzen *h'* und *h* angebracht, welche direkt auf den Stahlkörper *d* wirken und beim Anziehen bezw. Loslassen diesen und somit das betreffende Ende der innern Fassungsröhre heben bezw. senken. Um diese Neigung ausführen zu können, ist zwischen den inneren Wänden der Rohransätze *e''* und *e'''* und den Stöpseln *b* und *b'* ein Spielraum vorhanden.

b. Die Bambergsche Libelle. (Fig. 26.)

Die Libellenfüsse *a*, *a'* sind mit dem Fassungsrohr *b* fest verbunden. Das Glasrohr *g* lagert in dem innern Fassungsrohr *d* auf je zwei festen Auflagepunkten zu beiden Seiten des Ausschnittes, auf welche es durch

Fig. 26.



die Federn *h* und *h'* niedergedrückt wird. Die letzteren drücken auf kleine aufgeleimte Lederstreifen, so dass keine seitliche Verschiebung eintreten kann. Eine Längsverschiebung wird durch eingelegte Korkstückchen verhindert.

Die Libelle wird geprüft, indem man sie auf einer geraden Linie um 180° umsetzt und den Ausschlag beide Male abliest. Die Seite, nach welcher der grössere Ausschlag beobachtet wird, liegt zu hoch. Die Korrektur erfolgt vermittelst der Vertikalschrauben, und zwar um den Betrag der halben Differenz der beiden beobachteten Ausschläge.

Die Libelle ist nun parallel gestellt der Ebene jener geraden Linie, auf welcher sie umgesetzt wurde. Sie muss nun noch parallel gestellt werden der Vertikalebene derselben Linie vermittelst der Horizontalschrauben. Die zu verbessernde Abweichung erkennt man, indem man die Libelle mit ihren Füssen bezw. mit ihrer Aufhängung um die gegebene Linie (z. B. die Horizontalaxe eines Instruments) einen Ausschlag beschreiben lässt und beobachtet, ob die Blase hierbei ihre Stellung verändert. Denn wenn die Vertikalebene der Libelle eine andere ist als die jener Linie, so muss sich bei dieser Bewegung das eine Ende heben, das andere senken (wie aus dem extremen Fall einer Schwenkung um 90° leicht anschaulich wird).

Wenn dieser Fehler vermittelst der Horizontalschrauben korrigirt ist, so muss man die Vertikalkorrektur nochmals prüfen.

Die feinen Korrektionen einer Libelle erfordern viel Zeit und Geduld. Man kann aber durch Umlegen der Libelle den Fehler eliminiren und auch mit einer unkorrigirten Libelle eine Linie horizontal richten. Für feine Messungen muss die Libelle stets als unkorrigirt behandelt werden, da sich sehr empfindliche Libellen nach der Korrektur leicht wieder ändern, weil sich nachträglich die Spannung in den Metalltheilen (hervorgebracht durch die Korrekturschrauben) ausgleicht. Bei feinen Libellen ist zu beachten:

1. Dass es mindestens eine Minute dauert, ehe sich die Blase nach Umsetzen der Libelle wieder sicher einstellt.
2. Dass die Erwärmung des einen Endes durch eine in zu grosser Nähe stehende Laterne oder Näherung der Hand die Ablesung beeinflusst.
3. Dass beim Umsetzen der Libelle die Füsse oder Haken alternirend immer wieder genau an denselben Ort angesetzt werden müssen.

§ 13. Messung der Neigung mit Hülfe der Libelle.

Die Empfindlichkeit der Libelle giebt man durch den Winkel an, welchen ein Theilstrich auf derselben in Bogenmass darstellt. Die Empfindlichkeit ist also dem Krümmungsradius proportional. Soll 1 mm der Theilung 2″ entsprechen, so muss der Radius 100 m betragen, woraus die Schwierigkeit der Anfertigung feiner Libellen sich ergiebt.

Zur Bestimmung eines Skalentheils bedient man sich in den Observatorien eines dazu konstruirten Lineals, welches an der einen Seite auf einer Schraube mit Theilkreis ruht. Vermittelst dieser Schraube kann man dem Lineal beliebige Neigungen geben, welche man am Theilkreis abliest. Die Ablesungen nach einander folgend verglichen mit den gleichzeitigen Einstellungen der Libelle, welche auf das Lineal gestellt ist, ergiebt den Werth der Skalentheile.

Die Theilung der Libellen wird verschieden beziffert. Entweder liegt der Nullpunkt in der Mitte oder an einem Ende. Zuweilen auch werden die Skalentheile von beiden Seiten nach der Mitte gezählt.

Für feinere Libellen ist die durchgehende Bezifferung von einem Ende aus am üblichsten.

Das Vorzeichen der Ablesung richtet sich nach der relativen Stellung der Libelle und wechselt daher in Bezug auf die absolute Bezifferung mit dem Umsetzen auf der Axe. Bei der Aufsatzlibelle einer Horizontalaxe ist immer das Kreisende positiv zu bezeichnen. Bei der Theilung aus der Mitte wird also gezählt: nach dem Kreisende zu positiv; bei Theilung vom Ende: nach dem Kreisende zu wachsende Bezifferung positiv, vom Kreisende fort wachsende Bezifferung: negativ.

Beispiel der Nivellirung einer Horizontalaxe:

1. Libelle von der Mitte getheilt.

	Libelle		Korrektion der Libelle	Absolute Neigung der Horizontalaxe
Kreis links	+ 6,5	— 7,0	(0,25)	— 0,5
Libelle umgesetzt	+ 6,0	— 7,5		
Kreis rechts	+ 7,4	— 6,1	(0,30)	+ 0,95
Libelle umgesetzt	+ 8,0	— 5,5		
	+ 27,9	— 26,1	Mittel 0,28	Halbe Summe + 0,23
	— 26.1			Halbe Differenz 0,73
Dividirt durch 8:	+ 1,8 = + 0,23			

Das Kreisende ist gegen die Ebene des Horizontalkreises 0,23 Skalentheile nach oben geneigt. Die Vertikalaxe ist in der Vertikalebene der Horizontalaxe gegen die Vertikallinie 0,73 Skalentheile geneigt.

2. Libelle vom Ende getheilt.

	Libelle		Absolute Neigung der Horizontalaxe
Kreis links	+ 21.5 + 3,0 = + 24.5	— 2	$\frac{-2{,}0}{4} = -0{,}5$
Libelle umgesetzt	— 4.0 — 22,5 = — 26.5		
Kreis rechts	— 2.6 — 21,1		
Libelle umgesetzt	+ 23.0 + 4.5		= + 0,95
	+ 44,5 + 7,5 = + 52		
	— 6,6 — 43.6 = — 50.2		
	dividirt durch 8: = 1,8		= 0,23 Neigung

der Horizontalaxe gegen die Horizontalebene des Instruments.

Den Skalenwerth der Libellen eines Universalinstruments bestimmt man vermittelst des Höhenkreises auf folgende Weise:

Man nivellirt das Instrument und stellt die Fernrohraxe so, dass die Richtung desselben und der ihm parallelen Libelle rechtwinklig auf der Verbindungslinie zweier Stellschrauben steht. Wenn man nun die Stellung des Höhenkreises mittelst der Mikroskope abliest und gleichzeitig die Stellung der Libelle notirt, darauf den Rahmen mittelst der Mikrometerschraube etwas neigt und die Ablesung am Höhenkreise und Niveau wiederholt, so entspricht die Differenz der Kreisablesung dem Werth des von der Blase durchlaufenen Skalenintervalls der Libelle. Man verschiebt dann durch Bewegung einer Fussschraube die Blase in der Libelle wieder zurück nach der andern Seite, ohne dass sich die Ablesung am Höhenkreise ändert, und notirt diesen Stand des Niveaus. Darauf wiederholt man die Neigung des Rahmens mittelst der Mikrometerschraube und notirt wieder den Stand des Niveaus. Man kann die Blase einen langen Weg durch wechselweises Neigen des Instruments nach der einen, des Rahmens mit der Libelle allein nach der andern Seite zurücklegen lassen, welcher in Skalentheilen auf der Libelle abgelesen wird und durch Bestimmung des von den Mikroskopen am Höhenkreise durchlaufenen Bogens in Gradmass umgesetzt wird.

Beispiel.

Bestimmung der Skalentheile der Libelle am Mikroskopenrahmen eines kleinen astronomischen Universalinstruments:

	Ablesung der Libelle		Zahl der durchlaufenen Skalentheile	Mittel der Ablesung am Höhenkreise
	6,4	22,5		87° 39′ 48″
Mikrometerschraube gedreht	1,6	17,6	4,85	
Fussschraube gedreht	6,0	22,1		
Mikrometer schraube	1,7	17,8	4,3	
Fussschraube	7,0	23,1		
Mikrometerschraube	1,0	17,1	6,0	87° 38′ 2″
			Summe der Skalentheile 15,15	Differenz des Bogens 106″

15,15 Skalentheile gleich 106″, also ein Skalentheil gleich 7,0″.

Die Aufsatzlibelle desselben Instruments wurde durch loses Aufsetzen auf den Rahmen parallel der festen Libellen auf gleiche Weise geprüft. Dieselbe war aus der Mitte getheilt.

	Ablesung an der Libelle linkes Blasenende	rechtes Blasenende	Zahl der durchlaufenen Skalentheile	Mittel der Ablesung am Höhenkreise
	12.1	6,5		87° 37′ 56″
Mikrometerschraube gedreht			4,7	
	7,5	11,3		
Fussschraube gedreht	11,8	6,7		
Mikrometerschraube			4,9	
	7,0	11,7		
Fussschraube	11,7	6,8		
Mikrometerschraube			5,8	
	5,9	12,6		87° 12′ 20″

Summe der Skalentheile 15,4   Differenz des Bogens 96″

Daraus ergiebt sich der Werth eines Skalentheils zu 6,23″.

IV. Verschiedene Hülfsinstrumente.

§ 14. Künstliche Horizonte.

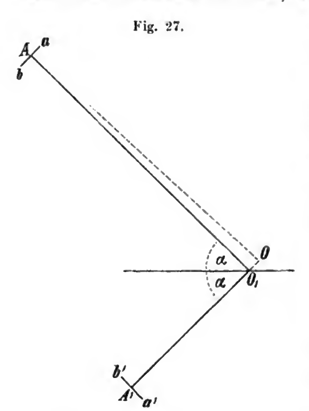
Die scheinbare Höhe eines Punktes ist der Winkel am Auge des Beobachters zwischen der Richtung nach diesem Punkt hin und dem scheinbaren Horizont (d. h. der Horizontalebene des Auges) gemessen in der Vertikalebene.

Um mittelst eines Reflexionsinstruments diesen Winkel zu messen, bedient man sich entweder bei unbegrenzter Fernsicht des unter dem Höhenpunkt liegenden natürlichen Horizonts und reducirt den so erhaltenen grösseren Winkel auf den scheinbaren Horizont, oder man benutzt einen künstlichen Horizont.

Ein künstlicher Horizont ist ein horizontal liegender ebener Spiegel, in welchem ein Spiegelbild des zu bestimmenden Höhenpunktes gesehen werden kann. Der Winkel, unter welchem ein von diesem Höhenpunkte ausgehender Strahl die Spiegelebene trifft, ist der Höhenwinkel über dem künstlichen Horizont. Der in das Auge gelangende reflektirte Strahl verlässt den Spiegel unter dem gleichen Winkel, das Bild im Spiegel erscheint also um den gleichen Winkel unter dem Horizont oder um den doppelten Höhenwinkel unter dem Punkte selbst. Misst man also den Winkel zwischen dem Höhenpunkt und seinem Spiegelbild und dividirt durch zwei, so hat man den Höhenwinkel bezogen auf die Horizontalebene des künstlichen Horizonts. Auf die Horizontalebene des Auges würde dieser Winkel reducirt werden durch Verminderung um den Winkel am Höhenpunkt zwischen Auge und Spiegel ($\angle\, OAO'$ in Figur 27), eine

Reduktion, welche in der Regel verschwindend klein ist. Ist die spiegelnde Fläche nicht vollkommen horizontal, sondern um einen Winkel ε in der Vertikalebene der Beobachtung zur Horizontalebene geneigt, so ist sogleich ersichtlich, dass für eine solche Neigung der erhaltene Höhenwinkel um $2\,\varepsilon$ korrigirt werden muss. Die Hauptanforderung, welche man an einen künstlichen Horizont stellen muss, ist daher die vollkommen horizontale Lage der Spiegelfläche. Eine solche ergiebt sich unmittelbar als Oberfläche einer spiegelnden Flüssigkeit. Ein künstlicher Horizont wird daher am einfachsten und genauesten durch eine spiegelnde Flüssigkeit hergestellt. Quecksilber in reinem Zustande ist dazu besonders geeignet.

Fig. 27.



Da Quecksilber nicht immer zu haben ist, so ist zuweilen ein künstlicher Horizont aus einer andern Flüssigkeit herzustellen. Man benutzt dazu sehr häufig mit Kienruss geschwärztes Oel oder Theer. Einfacher ist es, sich des reinen Wassers zu bedienen*) und dasselbe in ein Gefäss zu giessen, welches sehr flach ist und einen ebenen Boden von schwarzer glanzloser Farbe hat, z. B. eine Schieferplatte. Auf die Horizontalstellung ist dabei besondere Rücksicht zu nehmen.

Es folgt hierunter die Beschreibung und Gebrauchsanweisung zweier Quecksilberhorizonte, welche häufig angewendet werden. Nach ihrer äusseren Form sind dieselben als Troghorizont und Dosenhorizont unterschieden.

1. Troghorizont.

Eine Eisenplatte ist mit einer flachen rechtwinkligen Vertiefung von etwa 15 cm Länge, 8 cm Breite und 6 mm Tiefe versehen, welche mit versilbertem Kupfer ausgefuttert und mit Salpetersäure angequickt ist. An der einen Seite befindet sich eine schräge Bohrung zum Entleeren der Schale. Diese Bohrung wird durch einen Stahlstöpsel verschlossen gehalten.

*) Magnaghi, „Gli Strumenti a riflessione etc." Jordan empfiehlt Tinte, welche aber mit Oel und Theer den Nachtheil der Unsauberkeit gemein hat. (Vergl. Taschenbuch der prakt. Geometrie.)

In diese flache Schale giesst man so viel Quecksilber, dass eine ebene Fläche hergestellt wird.

Dem Instrument ist noch eine Deckelplatte von Glas, eine Buchsbaumbüchse mit Quecksilber und ein Glasdach beigegeben.

Bei der Benutzung des Troghorizonts ist die viereckige Verschlussglasplatte zu entfernen, da dieselbe weder genau plan noch parallel ist; sie hat nur den Zweck, bei kleineren Ortsveränderungen oder beim Entleeren des Troges das Verschütten des Quecksilbers zu verhüten.

Die hölzerne Büchse, welche das Quecksilber enthält, hat zwei Verschraubungen, eine kleine obere und eine grössere untere. Soll der Trog gefüllt werden, so ist die obere Verschraubung zu entfernen, dann kann das Quecksilber ausgegossen werden, wobei es durch die kleinen Bohrlöcher filtrirt wird. Beim Entleeren des Troges ist das Verschlussglas aufzulegen und der an der einen Kante befindliche konische Stahlstöpsel herauszuziehen, worauf durch Neigen des Troges das Quecksilber in die Büchse, deren kleine Oeffnung man verschlossen, die grosse aber geöffnet hat, eingegossen werden kann.

Die Glasplatten des Horizontdaches sind bis auf sehr kleine Fehler plan-parallel und behufs Umsetzen des Daches mit I und II bezeichnet.

2. Dosenhorizont.

Eine runde Metallbüchse trägt auf der oberen Seite eine flache Schale. Die Fläche der Schale ist zur Aufnahme des Quecksilbers aus Kupfer gefertigt und mit salpetersaurem Quecksilber angequickt.

In der Mitte hat diese Schale ein Loch, welches in einen mit Quecksilber gefüllten Ledersack führt. Unter dem Ledersack befindet sich eine Holzplatte, welche durch eine Verschraubung auf- und niederbewegt werden kann und durch Zusammendrücken des Ledersacks entweder das Quecksilber in die flache Schale entleert oder durch Erweitern des Sackes das Quecksilber aus der Schale abfliessen lässt. Die Schale wird zum Verpacken mit einem Deckel verschraubt, welcher einen Lederstopfen für den Quecksilbersack trägt.

Es ist vortheilhaft, eine sehr flache Quecksilberschicht zu verwenden, da eine solche nicht so leicht in Unruhe versetzt wird.*) Eine feste Unterlage ist immer erforderlich. Um Staub und Wind von der Quecksilberfläche fernzuhalten, bedient man sich ebenfalls eines Glas-

*) In dieser Beziehung sind die runden Quecksilberschalen, welche in der Mitte die grösste Tiefe haben, unrationell. An den Rändern ist eine gewisse Tiefe der Quecksilberschicht erforderlich, um die Krümmung der Kapillarität zu vermindern; gegen die Mitte dagegen ist eine sehr flache Quecksilberschicht vortheilhaft, denn die sich in der Flüssigkeit bildenden Wellen, welche hauptsächlich von den Gefässwänden ausgehen, werden durch die geringe Tiefe abgeschwächt. Die rationellste Form des Quecksilbertrogs besteht daher in einer flachen Schale mit am Rande herumlaufender tieferer Rille.

daches, das man aber als unbequem bei der Beobachtung selbst gern vermeidet, zumal da durch Fehler der Glasflächen ein fehlerhaftes Beobachtungsresultat herbeigeführt werden kann. Gegen solche Fehler schützt man sich, indem man zwei Beobachtungsreihen anstellt, zwischen welchen man das Dach so umsetzt, dass die beiden Glasfenster mit einander vertauscht werden.

Das Quecksilber, welches zur Bildung des künstlichen Horizonts gebraucht werden soll, eignet sich für den Zweck am besten, wenn es chemische Reinheit besitzt. Die gewöhnlich zur Aufbewahrung mitgegebenen Buchsbaumflaschen sind mit einem Holzfilter versehen, welches die gröberen Unreinigkeiten zurückhält. Noch wirksamer ist ein aus weissem Schreibpapier durch Einstechen feiner Löcher gefertigtes Filter. Die auf der Oberfläche sich bildende Oxydschicht kann durch ein darüber hinweggeführtes Kartenblatt, einen reinen Bleistift oder dergl. entfernt werden.

3. Glashorizont.

Statt der Quecksilberhorizonte sind auch Glashorizonte in Gebrauch, welche aus ebengeschliffenen dunklen Glasplatten bestehen, die mit Hülfe einer Libelle horizontal gestellt werden. Da der Fehler der Neigung des Horizonts, wie bereits erwähnt, das Resultat stark beeinflusst, so muss ein solcher künstlicher Horizont sehr fein gearbeitet sein und verlangt eine sehr sorgfältige Aufstellung.

§ 15. Heliotrope.

Zu den Hülfsinstrumenten gehört noch das Heliotrop, ein Signalapparat, welcher dazu dient, auf grosse Entfernungen einen Punkt, welcher anvisirt werden soll, durch reflektirtes Sonnenlicht kenntlich zu machen.

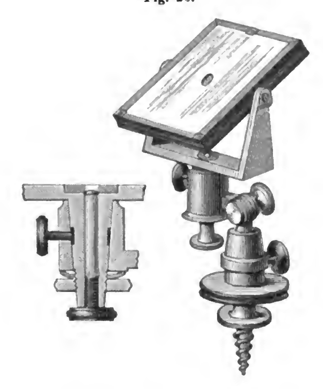
Das Heliotrop besteht aus einem kleinen Spiegel, welcher mit doppelter Axendrehung versehen ist. Eine vertikale Axe gestattet, den Spiegel normal zur Vertikalebene Sonne—Visirpunkt zu stellen, eine horizontale Axe, das Spiegelbild der Sonne in die Visirrichtung zu reflektiren.

1. Das Steinheilsche Heliotrop.

Das Heliotrop von Steinheil (Fig. 28) empfiehlt sich durch seine kompendiöse Form und dadurch, dass es einer Prüfung nicht bedarf.

Es besteht aus einem kleinen 48 mm langen, 32 mm breiten Spiegel, in dessen Mitte die Belegung in einem kleinen Kreise von 4,5 mm Durchmesser fortgenommen ist. Senkrecht unter dem Spiegel befindet sich eine kleine Röhre, in welcher eine Sammellinse *B* (Fig. 29) angebracht ist. Diese Röhre ist von unten durch eine Schraube geschlossen, die an ihrer Vorderfläche mit weissem Papier *C* belegt ist. Dieses Papierscheibchen wird in den Brennpunkt der Linse geschraubt. Das Instrument kann mit seiner Baumschraube überall leicht befestigt werden.

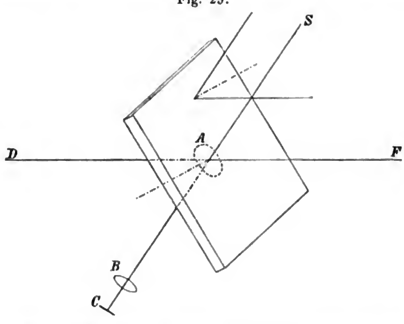
Fig. 28.



Gebrauch des Heliotrops.

Der Spiegel wird zunächst so eingestellt, dass das Sonnenlicht durch die Oeffnung *A* (Fig. 29) auf die Sammellinse *B* fällt und von *C* nach *A* zurück reflektirt wird. Bei *A* wird ein Theil des Lichtes an der unbelegten

Fig. 29.



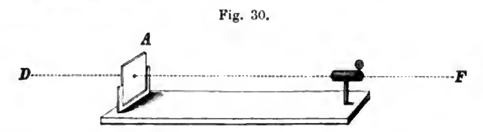
Glasfläche nach hinten reflektirt. Ist nun *DF* die Visirlinie, so kann der Spiegel so um seine Horizontalaxe gedreht werden, dass ein mattes Bild

von C von A nach dem Beobachter D zurückgeworfen wird. In dieser Stellung des Spiegels wird aber das auf den eigentlichen Spiegel direkt auffallende Sonnenlicht parallel DF reflektirt. F empfängt also Licht, wenn D durch die Oeffnung A nach F visirt und gleichzeitig einen matten weissen Kreis (das Bild von C) in der Richtung DF erblickt.

2. Das Bertramsche Heliotrop.

Das Heliotrop von Bertram zeichnet sich durch seine einfache Form aus. Dasselbe kann leicht ohne Hülfe eines Mechanikers angefertigt werden und ist auch in seiner Handhabung vor allen ähnlichen Instrumenten das einfachste.

Fig. 30.



Ein Spiegel A (Fig. 30), welcher sich, wie der des Steinheilschen Heliotrops, zwischen zwei Schrauben eines Rahmens um seine horizontale Axe dreht, während der ganze Rahmen um seine Vertikalaxe drehbar ist, wird mit dieser Axe auf ein Brett gestellt, auf welchem zugleich vor dem Spiegel ein Diopter sich befindet. Der Spiegel ist 8 cm hoch und breit, auf demselben ist im Durchschnittspunkt der horizontalen und vertikalen Axe und gleich hoch mit dem Diopterrohr ein Kreis 8 mm im Durchmesser unbelegt gelassen. Der Beobachter in D kann nun von hinten durch diese Oeffnung hindurchsehend den zu beleuchtenden Punkt durch das Diopter anvisiren und in dieser Richtung das Brett feststellen. Dann wird eine weiss beklebte Klappe vor das Diopter geklappt und der Spiegel so lange gedreht, bis der Schatten des unbelegten Kreises genau auf die Mitte dieser weissen Klappe fällt. Offenbar müssen dann die von dem umgebenden Spiegel reflektirten Sonnenstrahlen parallel der anvisirten Richtung reflektirt werden, so dass der anvisirte Punkt F Licht erhält.

Wegen der Bewegung der Sonne muss die Stellung des Spiegels in kurzen Zwischenräumen geändert werden. Der das Heliotrop Bedienende hat also die Einstellung öfter zu wiederholen und durch leichtes Klopfen an den Spiegel denselben entsprechend zu korrigiren.

3. Der Sextant als Heliotrop.

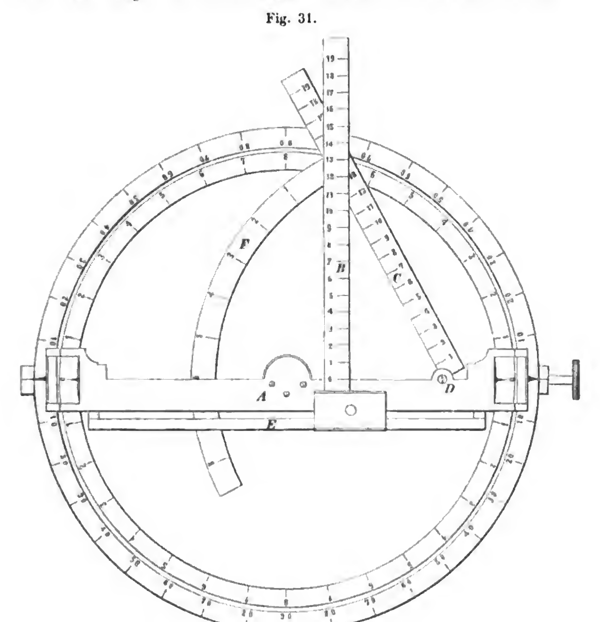
Der Sextant auf dem Stativ lässt sich als Heliotrop bequem verwenden, sobald der Reflexionswinkel $2\,\mu$, welchen der vom grossen Spiegel reflektirte Strahl am kleinen Spiegel bildet, bekannt ist. Man visirt das Objekt, welches Licht erhalten soll, mit dem Fernrohr so an, dass man gleichzeitig das doppelte reflektirte Sonnenbild im kleinen Spiegel erblickt.

Wenn man dann den Sextanten unverrückt in dieser Vertikalebene stehen lässt und die Allhidade um 2 μ am Limbus weiter fortschiebt, so erhält das anvisirte Objekt vom grossen Spiegel das reflektirte Sonnenlicht. (Siehe Abschnitt V.)

§ 16. Die Peilscheibe für Abstandsbestimmungen.

Das Instrument Fig. 31 besteht aus einer messingnen kreisrunden Scheibe von 30 cm Durchmesser, die am Rande eine Eintheilung in Striche und Grade trägt. Die untere Fläche derselben ruht auf einer rauten-

Fig. 31.



Peilscheibe für Abstandsbestimmungen.

förmigen Platte. Diese ist centrisch durchbohrt und mit einem Zapfen versehen, um welchen die Scheibe gedreht und dem anliegenden Kompass-

strich entsprechend eingestellt werden kann. Für diese Einstellung befinden sich auf den Enden der Unterlageplatte zwei kleine Flächen in Höhe der Scheibe, auf denen Indexstriche, entsprechend dem Steuerstrich des Kompasses, angebracht sind. An einem derselben befindet sich eine Klemmschraube, um die Scheibe nach erfolgter Einstellung festsetzen zu können. Die Unterkante der Platte ist mit zwei Zapfen versehen, die in zwei Löcher mit Messingfutter, auf der Reling oder einem sonstigen geeigneten Ort passen.

Auf der oberen Fläche der Scheibe, um die Mitte derselben drehbar, befindet sich die Peilvorrichtung *A* mit Diopter und Faden. An dem Diopterlineal sind zwei bewegliche, mit einer Eintheilung von 10 zu 10 m versehene Schenkel *B* und *C* so angebracht, dass der letztere, um den Punkt *D* drehbare die Hypotenuse, der andere auf der Stange *E* verschiebbare, die Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks darstellt.

An dem Schenkel *C* ist ein getheilter Metallbogen *F* befestigt, mit dessen Hülfe jeder beliebige der beweglichen Kathete gegenüberliegende Winkel eingestellt werden kann.

Für den verschiebbaren Schenkel *B* ist noch ein zur Verlängerung desselben dienendes Ansatzstück vorhanden, durch dessen Anwendung die Theilung des Schenkels bis 2000 m ausgedehnt werden kann. Dieses Instrument lässt sich als gewöhnliche Peilscheibe verwenden, dient aber ausserdem dazu, alle Aufgaben, welche sich mittelst rechtwinkliger Dreiecke lösen lassen, durch einfache Manipulationen auszuführen, wenn nicht zu grosse Genauigkeit erfordert wird.

Nachstehende Beispiele mögen dazu dienen, den Gebrauch zu veranschaulichen:

1. Aus der Peilung eines Objekts und der gleichzeitigen Distanz desselben vom Schiff den Abstand zu finden, in welchem bei unverändertem Kurs dasselbe querab passirt wird.

Es sei der Kurs N, die Peilung eines Objekts NW, die Distanz 1800 m. Nachdem der Gradbogen auf 4 Strich, der Differenz zwischen Kurs und Peilung, eingestellt ist, wird die Kathete über die Zahl 1800 der Hypotenuse gebracht. Die gesuchte auf der Kathete abzulesende Entfernung beträgt 1275 m.

2. Welcher Kurs muss gesteuert werden, um in einem bestimmten Abstand ein Objekt zu passiren, das gepeilt und dessen Entfernung gleichzeitig bestimmt wurde?

Die Peilung eines Objekts sei NW, die Entfernung desselben 1800 m, es soll dasselbe in einem Abstand von 800 m passirt werden. Es wird die Hypotenuse auf 1800 mit der Kathete auf 800 zusammengestellt, der auf dem Gradbogen abzulesende Winkel, im gegebenen Falle 2³/₈ Strich, ist die Grösse, welche der Peilung hinzugezählt oder von derselben abgezogen werden muss, je nachdem das Objekt an Steuerbord oder Backbord zu passiren beabsichtigt wird. Hier NzW⁵/₈W oder WNW³/₈W.

3. Nachdem die Lage eines Objekts vom Schiff aus bestimmt und die Fahrt auf einem bestimmten Kurse fortgesetzt ist, wird das Objekt wieder gepeilt. Es soll die Entfernung bei der zweiten Peilung gefunden werden:

Die erste Peilung des Objekts sei NW, die Entfernung 1800 m, das Schiff habe dann N gesteuert und das Objekt darauf WNW gepeilt. Für den Gradbogen 4 Strich und die Hypotenuse 1800 ergiebt die Ablesung auf der Kathete 1275. Wird nun der Gradbogen auf 6 Strich und die Kathete auf 1275 eingestellt, so ist der gesuchte, auf der Hypotenuse abzulesende Abstand gleich 1380 m.

4. In welche Peilung muss ein Objekt, dessen Richtung und Entfernung bestimmt wurde, gebracht werden, wenn ein Schiff auf gegebenem Kurse sich demselben bis auf eine bestimmte Entfernung nähern will?

Das Objekt sei gepeilt NW in 1800 m Abstand, das Schiff steuert N und soll sich bis auf 1400 m dem Objekt nähern. Mit 4 Strich Bogen und 1800 Hypotenuse wird die Kathete 1275 abgelesen. Es ist nun aus der Kathete 1275 und der Hypotenuse 1400 ein Dreieck zu bilden, in welchem der Gradbogen die gesuchte Peilung, hier $5^7/_8$ Strich, angiebt. Es wird also in diesem Falle das Objekt in NWzW$^7/_8$W gepeilt werden müssen.

5. Wenn ein Objekt zweimal nach einander gepeilt wurde und der Kurs sowie die zurückgelegte Distanz in der Zwischenzeit bekannt sind, wie weit ist dann das Objekt bei der zweiten Peilung entfernt?

Es sei die erste Peilung NNW, die zweite Peilung WzN, der Kurs und die Distanz in der Zwischenzeit NO 1650 m. Der Gradbogen wird auf 6 Strich (Differenz zwischen Kurs und erster Peilung) und die Hypotenuse auf 1650 eingestellt. Die hierzu gehörige Kathete ist 1525. Sodann wird der Kurs umgekehrt und der Winkel zwischen diesem und der zweiten Peilung — 5 Strich (SW—WzN) — auf dem Gradbogen eingestellt. Die zu der Kathete 1525 gehörige Hypotenuse ist die gesuchte Distanz, im gegebenen Falle 1835 m.

Meteorologische Instrumente.

I. Das Barometer.

§ 17.

Wenn man eine an einem Ende zugeschmolzene Glasröhre mit Quecksilber füllt, die Oeffnung dann mit dem Finger schliesst und die Röhre mit der Oeffnung nach unten senkrecht in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäss taucht, so bleibt das Quecksilber auch nach Fortziehen des Fingers in der Röhre in einer gewissen Höhe über dem Niveau des Quecksilbers im Gefäss stehen. Diese Höhe beträgt im Mittel ungefähr 760 mm und rührt her von dem Druck der äusseren Luft auf das die Röhre umgebende Quecksilber. Nimmt der Luftdruck zu, so wird das Quecksilber in der Röhre steigen und bei abnehmendem Luftdruck wieder fallen. Indem man den senkrechten Abstand der Quecksilberkuppe in der Glasröhre von der Oberfläche des dieselbe umgebenden Quecksilbers misst, hat man ein Mass des eben stattfindenden Luftdruckes. Dies ist das Princip, welches der Konstruktion des Barometers zu Grunde liegt.

Um auf diese Weise genaue vergleichbare Daten zu erhalten, ist Voraussetzung, dass 1. in dem Raum der Glasröhre über dem Quecksilber, der sogenannten Toricellischen Leere, keine Luft vorhanden ist, da sonst diese einen Gegendruck auf die Quecksilbersäule ausüben und einen zu niedrigen Stand derselben verursachen würde; dass 2. das Quecksilber vollkommen rein ist, denn sonst würde dasselbe ein anderes specifisches Gewicht haben und auch an den Glaswänden der Röhre adhäriren. Zur Vermeidung dieses letzteren Uebelstandes muss auch die Glasröhre innen vollkommen rein sein.

Diese Voraussetzungen sind nicht leicht zu erfüllen; die Anfertigung eines fehlerfreien Barometers ist vielmehr eine schwierige, die grösste Sorgsamkeit verlangende Arbeit. Vollkommen reines Quecksilber wird hergestellt, indem man dasselbe mit sehr verdünnter Salpetersäure dauernd und heftig schüttelt, hierauf mit destillirtem Wasser gut auswäscht und schliesslich trocknet und filtrirt.

Um aus der mit Quecksilber gefüllten Röhre alle Luft und Feuchtigkeit zu entfernen, giebt es kein anderes Mittel, als die Röhre auszukochen,

eine Manipulation, bei welcher die Röhre infolge der heftigen Stösse des kochenden Quecksilbers leicht zerbrechen kann. Ist aus dem Quecksilber alle Luft und Feuchtigkeit ausgetrieben, so erscheint die Quecksilbersäule als ein vollkommen reiner Spiegel.

Das Barometer in seiner einfachsten Gestalt besteht in einer so zugerichteten Glasröhre, welche in ein Quecksilbergefäss taucht, und einem vertikalen Massstab, mittelst dessen man den Abstand der beiden Oberflächen in der Röhre und im Gefäss messen kann. Das Niveau des Quecksilbers im Gefäss kann man jedoch nicht als konstant annehmen, denn es senkt sich, wenn der Luftdruck zunimmt, also mehr Quecksilber in die Röhre eintritt, und steigt, wenn der Luftdruck abnimmt, also Quecksilber aus der Röhre ins Gefäss fliesst. Ausserdem würde sich diese einfache Form nur für solche Barometer eignen, welche an einem Orte, z. B. in einem Laboratorium, fest aufgestellt sind. Man hat daher den Barometern, je nach ihrer Verwendung, verschiedene Konstruktionen gegeben, deren hauptsächliche später beschrieben werden.

Von welcher Konstruktion nun auch ein Barometer sei, so sind dessen Angaben doch stets von der Temperatur und in vielen Fällen auch von der Kapillarität beeinflusst, und diese Einflüsse müssen in Rechnung gezogen werden.

§ 18. Die Temperaturkorrektion.

Das Quecksilber dehnt sich durch Erwärmung aus und wird specifisch leichter. Bei höherer Temperatur entspricht daher dem gleichen Luftdrucke eine höhere Quecksilbersäule. Die Volumenausdehnung des Quecksilbers beträgt im Mittel 0,00018 für einen Grad der hundertteiligen Thermometerskala. Die Höhe der Quecksilbersäule b bei t° verhält sich also zu der Höhe b_0 bei 0° wie $1 + 0{,}00018 \,.\, t$ zu 1, oder es ist:

$$\frac{b}{b_0} = 1 + 0{,}00018 \,.\, t, \text{ mithin}$$

$$b_0 = \frac{b}{1 + 0{,}00018 \,.\, t} \text{ oder sehr nahe:}$$

$$b - b_0 = 0{,}00018 \, t \, b.$$

Die äussere Temperatur wirkt hinsichtlich Erwärmung oder Abkühlung auf Quecksilbercylinder von verschiedenem Querschnitt nicht gleichmässig ein.

Um die Temperatur des Quecksilbers im Barometer mittelst eines Thermometers genau zu erhalten, ist es daher nöthig, dem Gefäss des letztern denselben Durchmesser zu geben wie der Quecksilberröhre im Barometer, denn nur dann werden die Schwankungen der Temperatur in beiden Instrumenten gleichmässig vor sich gehen. An manchen Normalbarometern befindet sich der untere Theil des Thermometers in einer

besonderen mit Quecksilber gefüllten Glasröhre, deren Durchmesser gleich dem der Quecksilberröhre des Barometers ist.*)

Bei der Messung des Luftdrucks ist ausserdem noch die Ausdehnung des Massstabes durch die Wärme zu berücksichtigen. Für den Barometerstand b würde man vermittelst eines zu langen Massstabes eine zu geringe Höhe b' abgelesen haben. Da der lineare Ausdehnungskoëfficient des Messings 0,000018 beträgt, so würde bei einem Massstabe von diesem Material nur die Differenz der Ausdehnung von Quecksilber und Messing in Betracht kommen, folglich

$$b = b' (1 + 0{,}000018\, t - 0{,}00018\, t)$$

werden. Kann man für das Quecksilber und den Massstab gleiche Temperatur annehmen, so hat man $b_0 = b' \ (1 - 0{,}000162\, t)$ und als Gesammtreduktion:

$$b' - b_0 = 0{.}000162\, t\, b'.$$

Nach dieser Gleichung sind die Temperaturkorrektionen der Tabelle II am Schluss dieses Abschnitts berechnet.

Es ist gleichgültig, aus welchem Material die eigentliche Skala besteht, wenn sie eine kurze auf die Fassung aufgeschraubte Platte bildet. Das Material der Fassung, welche dann den Massstab vom Nullpunkt bis zur Skalenplatte bildet, kommt allein in Betracht. Obgleich Holz sich weniger ausdehnt als Messing, ist es doch minder geeignet, da ein konstanter Ausdehnungskoëfficient für Holz nicht gegeben werden kann.

§ 19. Die Kapillaritätskorrektion.

Die Krümmung der Quecksilberoberfläche, welche von dem Einfluss der Wände herrührt, ist in der Glasröhre stärker als in dem Gefäss, und daraus folgt, dass die Höhe der Quecksilbersäule stets kleiner ist, als sie nach dem herrschenden Luftdruck sein sollte. Die Grösse der zu dem abgelesenen Stande der Quecksilberkuppe stets hinzuzulegenden Kapillaritätskorrektion ist nicht konstant. Dieselbe hängt ab von der inneren Weite der Röhre und dem Winkel, welchen die Quecksilberoberfläche mit der Röhrenwandung bildet. Dieser Winkel ist veränderlich je nach schnelleren oder langsameren Druckänderungen der äusseren Luft und kann dadurch bestimmt werden, dass man die Höhe der Quecksilberkuppe misst. Je grösser der innere Durchmesser der Röhre ist, desto kleiner ist die Korrektion; je höher die Kuppe, desto grösser wird die Korrektion. Wenn man den inneren Durchmesser nicht kennt, so kann man ihn annähernd bestimmen, indem man von dem gemessenen äusseren Durchmesser das Doppelte der ungefähren Dicke der Glaswandung, gewöhnlich

*) Da der Stand des Thermometers durch längeres Verweilen des Beobachters vor dem Barometer leicht etwas erhöht werden kann, so sollte die Angabe des Thermometers stets zuerst notirt werden.

2,4 mm, abzieht. Die Höhe der Kuppe (Meniskus) bestimmt man durch abwechselnde Einstellung auf die Basis und den höchsten Punkt der Kuppe.

Eine Korrektionstabelle mit diesen Daten nach Bravais giebt folgende Tafel:

Positive Korrektion für Gefässbarometer wegen der Kapillardepression gegen eine ebene Fläche.

Innerer Durchmesser der Röhre in Millimetern	Höhe der Quecksilberkuppe in Millimetern																	
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
2	1,27	2,40	3,58	4,40	5,09													
4	0,30	0,60	0,89	1,16	1,41	1,64	1,86	2,05	2,21	2,35								
6	0,12	0,24	0,36	0,48	0,59	0,70	0,80	0,90	0,99	1,07	1,14	1,21	1,27	1,32	1,37			
8	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,35	0,40	0,46	0,50	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,77	0,79	
10	0,03	0,07	0,10	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,45	
12	0,02	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27
14	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16

Mit der Weite der Röhre nimmt diese Korrektion schnell ab, aber erst bei einem inneren Durchmesser von 24 mm ist man berechtigt, den ganzen Betrag der Depression und auch deren Variation geringer als 0,01 mm anzunehmen. Bei Normalbarometern Fortinscher Konstruktion sollte daher der innere Röhrendurchmesser mindestens 24 mm betragen.

§ 20. Verschiedene Konstruktionen von Barometern.

1. Das Heberbarometer.

Dasselbe besteht aus einer gebogenen Glasröhre, deren kurzer Schenkel offen ist und die Stelle des Gefässes vertritt. Haben die beiden Schenkel da, wo die beiden Quecksilberoberflächen beobachtet werden, gleiche Durchmesser, so hebt sich die Wirkung der Kapillarität auf. Heberbarometer bedürfen in der Regel keiner Kapillaritätskorrektion, auch erfordern sie weniger Quecksilber als Barometer anderer Konstruktion. Ersteres ist ein wesentlicher Vortheil der Heberbarometer vor anderen Konstruktionen, jedoch wird bei feinen Barometerbeobachtungen (bei Höhenbestimmungen) die Kapillaritätskorrektion für beide Quecksilberkuppen angewendet, weil man sich auf die vollständige Gleichmässigkeit der Röhre nicht verlassen darf und am unteren Schenkel wegen des Zutritts der äusseren Luft eine geringe Oxydation des Quecksilbers eintritt, wodurch die untere Kuppe allmälig gegen die obere zunimmt.

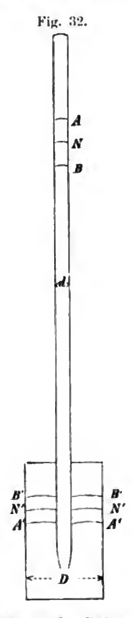
In diesem letzteren Falle ist also die Differenz der aus der Tabelle des § 19 gefundenen Depressionen von der Messung abzuziehen. Der Massstab ist entweder fest oder verschiebbar. Im ersteren Falle liest man die

Höhe der Quecksilberkuppe in beiden Schenkeln ab, und der Unterschied oder die Summe dieser Ablesungen giebt den Luftdruck, je nachdem der Nullpunkt des Massstabes unter der Quecksilberkuppe des kurzen Schenkels oder über derselben liegt. Ist der Massstab verschiebbar, so stellt man seinen Nullpunkt erst in die Höhe der Quecksilberkuppe im kurzen Schenkel ein und liest dann nach Einstellung der Kuppe im langen Schenkel mittelst eines Nonius den eben stattfindenden Luftdruck ab.

2. Barometer mit einfacher Ablesung.

Um eine einfache Ablesung zu erzielen, hat man bei diesen Barometern auf dreierlei verschiedene, nachfolgend beschriebene Weisen die Veränderlichkeit des Nullpunktes kompensirt, nämlich bei den einen durch Anwendung einer sogenannten Kapacitätskorrektion, bei anderen durch Anbringung eines bewegbaren Bodens im Gefäss und bei noch anderen durch Verkürzung der Skalentheile.

Fig. 32.



a. Kapacitätskorrektion.

Wenn das Quecksilber im Gefäss nicht beobachtet werden kann, so ist eine solche Korrektion nothwendig. Für eine bestimmte Höhe, gewöhnlich 760 mm, welche der neutrale Punkt genannt wird, liegt die Quecksilberoberfläche im Gefäss in gleicher Höhe mit dem Nullpunkt der Skala. Für einen Stand, welcher dieser Höhe gleichkommt, ist demnach die Ablesung richtig. Ist aber der Stand unterhalb des neutralen Punktes, so liegt die Quecksilberoberfläche im Gefässe höher als der Nullpunkt der Skala, weil Quecksilber aus der Röhre in das Gefäss geflossen. Es muss dann die abgelesene Höhe um den Betrag, um welchen das Quecksilber im Gefäss über den Nullpunkt gestiegen ist, vermindert werden. Ist hingegen der Stand oberhalb des neutralen Punktes, so liegt die Quecksilberoberfläche im Gefäss unter dem Nullpunkt, weil Quecksilber aus demselben in die Röhre getreten ist, und der abgelesene Stand muss um diesen Unterschied vermehrt werden. Diese Korrektion, welche die Kapacitätskorrektion genannt wird, richtet sich nach dem Verhältniss des Röhrendurchmessers zu dem Gefässdurchmesser und muss für das Barometer bekannt sein, ebenso die Ablesung, welche dem neutralen

Punkt entspricht. Wenn D (Fig. 32) den inneren Durchmesser des Gefässes und d den inneren Durchmesser der Röhre, δ den äusseren Durchmesser der Röhre bezeichnet, so ist die Kapacitätskorrektion $c = \frac{d^2}{D^2 - \delta^2}$. Ist ferner b die direkte Ablesung, b' die für Kapacitätskorrektion verbesserte und n die Ablesung für den neutralen Punkt, so ist:

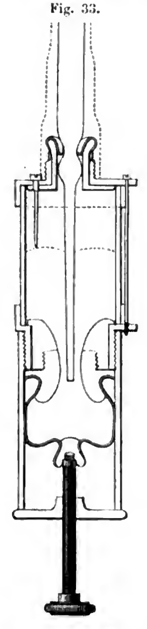
$b' = b + c\,(b - n)$, wenn b oberhalb n liegt und

$b' = b - c\,(n - b)$, wenn b unterhalb n liegt.

b. Bewegbarer Boden. (Fig. 33.)
(Fortinsches Barometer.)

Der obere Theil des Gefässes ist von Glas, der Boden besteht aus einem Beutel von dünnem Leder, in dessen Mitte eine Platte angebracht ist, die mittelst einer Schraube auf und nieder bewegt werden kann. Dadurch ist es möglich, das Niveau des Quecksilbers immer auf dieselbe Höhe einzustellen. Diese Höhe wird durch eine Elfenbeinspitze markirt, welche von dem Deckel in das Gefäss hineinragt und den Nullpunkt der Skala darstellt. Die Berührung des Stiftes mit der Quecksilberfläche kann mit grosser Genauigkeit bewirkt werden.

Fig. 33.



c. Reducirte Skala.
(Marinebarometer.)

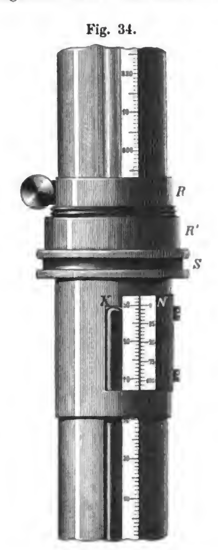
Bei den Marinebarometern ist die Theilung nicht wie bei den beiden vorhergehenden Systemen in Millimetern aufgetragen, sondern die Millimetertheilung ist um die Kapacitätskorrektion verkürzt, indem als neutrale Ablesung gewöhnlich der höchste abzulesende Stand des Barometers gewählt ist. So entsprechen bei älteren Marinebarometern 25 Theilstriche einer Länge von 24,38 mm. Die Grösse c, um welche die Theilstriche der Skala zu verkürzen sind, ist durch die Gleichung

$$c = \frac{d^2}{D^2 - \delta^2}$$

ausgedrückt, in welcher d der innere Durchmesser des Theiles der Röhre, wo sich die Skala befindet, D der innere Durchmesser des Gefässes und δ der äussere Durchmesser der in das Quecksilber des Gefässes tauchenden Röhre ist. Je grösser D im Verhältniss zu d ist, desto kleiner wird c.

Die Ablesevorrichtung der neueren Instrumente besteht in der Regel aus einem verschiebbaren Metallring *R* (Fig. 34), welcher das ganze Barometerrohr umschliesst und dessen untere Hälfte ein Schraubengewinde hat. In dieses greift die Ueberfangmutter eines zweiten Metallringes *R'* ein, an welchem der Nonius *N* befestigt ist und sich die Visirebene befindet. Diese wird durch die Kanten *K* einer an den Ring befestigten Hülse gebildet, welche bei senkrechter Stellung des Barometerrohres in einer Horizontalebene mit dem Nullpunkt des Nonius liegen. Da diese Kanten, von welchen nur die vordere in der Figur sichtbar ist, diametral gegenüber liegen, bilden sie eine scharfe Visirebene. Beim Einstellen schiebt man zunächst den Ring so weit, dass die Visirebene etwas oberhalb der Quecksilberkuppe liegt, und bringt dann mittelst der Schraube *S* am Ringe, welcher den Nonius trägt, beide zur genauen Berührung. Zur scharfen Einstellung ist es nöthig, dass das Licht von der dem Beobachter gegenüber liegenden Seite auf die Quecksilberkuppe fällt und dass dieselbe sich in der ungefähren Augeshöhe des Beobachters befindet. Mittelst eines Stückes weissen Papiers, welches man so hält, dass das von demselben reflektirte Licht auf die Skala und den Nonius fällt, wird das Ablesen des letzteren sehr erleichtert.

Fig. 34.



§ 21.

Im Folgenden sollen einige Barometer beschrieben werden, welche wegen ihrer verbreiteten Anwendung von Interesse sind und als Beispiele verschiedener Systeme dienen können.

Das Gefässheberbarometer
von **R. Fuess.**

Dieses Barometer verbindet die Vorzüge des Heberbarometers mit denen der Fortinschen Konstruktion. Es besteht aus einer langen, bei *O* etwas gebogenen Röhre *A* (Fig. 36) und einer kurzen Röhre *B*. Beide sind in einen Eisenkonus *E* so eingekittet, dass der obere Theil der

Fig. 35 und 36.



Röhre *A* mit der Röhre *B* eine gemeinschaftliche Axe hat. Durch die erweiterte Glasröhre *O* hängen beide Theile mit einander zusammen. Der Eisenkonus *E* ruht in einem gusseisernen Gefäss *D* und ist in diesem durch eine Ueberfangmutter *F* befestigt. Das Skalenrohr ist mittelst vier Schrauben an dem gusseisernen Gefäss befestigt, dessen unteren Theil ·ein Lederbeutel *C* bildet. Der Boden des Lederbeutels kann mittelst der Schraube *G* gehoben werden. Die Mutter dieser Schraube befindet sich an einer Messingkapsel, welche das eiserne Gefäss *D* umgiebt. Der Theil der langen Röhre *A*, welcher sich neben und über der Skala befindet, hat denselben Durchmesser wie die kurze Röhre *B*. Diese hat oben eine seitliche Oeffnung, welche durch eine Schraube *S* verschliessbar ist. Es befinden sich zwei verschiebbare Visire an dem Instrumente. Das untere, das Nullpunktvisir, wird für gewöhnlich mittelst der Schraube *K* festgeklemmt und befindet sich in richtiger Stellung, wenn der mittlere der drei auf demselben gezogenen Striche mit dem Centimeterstrich 1 der Skala koincidirt. Das obere Visir *N* lässt sich über das Nullpunktvisir hinabschieben, so dass man für feine Messungen oben und unten mit dem Nonius *N* ablesen kann. Die Röhre *A* wird oben durch Korkstückchen in ihrer Lage gehalten.

Die nachfolgende Instruktion des Verfertigers wird über den Gebrauch und die Vorzüge dieses Barometers Aufschluss geben.

Instruktion für die Zusammensetzung des Gefässheberbarometers.

Die Konstruktion gestattet eine Zerlegung des Instrumentes in der Weise, dass die mit Quecksilber gefüllten Glasröhren herausgenommen und in einem besonderen Etui sicherer verpackt werden können, als dieses bei zusammengesetztem Barometer möglich wäre.

Nachdem die Messingkapsel und der Lederboden *C* abgeschraubt worden sind, trennt man das Eisengefäss *D* von dem Skalenrohre, indem man die vier Schrauben, welche dasselbe mit dem Gefäss verbinden, herausschraubt, dann reinigt man den konischen Hohlraum des Gefässes *D*, welcher zur Aufnahme des an die Glasröhren gekitteten Eisenkonus *E* dient, von etwa anhängenden Staubtheilchen und steckt beide Theile so zusammen, dass die an ihren Rändern eingefeilten Marken koincidiren. Es wird nun die zur Befestigung des Eisenkonus *E* dienende Ueberfangmutter *F* mit dem Schraubenschlüssel fest geschraubt. Man vollzieht diese Arbeit am zweckmässigsten, indem man die Glasröhre wagerecht und durch eine Unterlage von weichen Substanzen passend unterstützt auf den Tisch legt. Dann richtet man die Barometerröhre auf, mit ihrem oberen geschlossenen Ende nach unten gekehrt, und lässt sie vorsichtig in das Skalenrohr hineingleiten, wobei zu beachten ist, dass 1. der mit dem Stahlgewinde versehene kurze Glasansatz bei *B* nicht abgestossen wird und 2. das obere Ende der Barometerröhre sich in den im Skalenrohr befestigten Kork gut einsenkt. Dem Skalenrohr ist nun eine solche Stellung zu geben, dass das Stahlgewinde mit dem Schlitz des Rohres koincidirt. Mit den oben genannten vier Schrauben muss jetzt das Skalenrohr wieder am Eisengefäss befestigt werden. Nach dem Aufschrauben des Verschlusskopfes *S* wird das dem Barometer beigegebene Quecksilber in das Gefäss gegossen. Zu beachten ist hierbei, dass das dünnere Glasrohr *A* — die Mündung des langen Schenkels der Barometerröhre — auch vollständig mit Quecksilber gefüllt werde. Sollte bei den vorherigen Operationen der Zusammensetzung etwas Quecksilber ausgelaufen sein, so muss vor dem Füllen des Gefässes zuerst die Röhre mit Hülfe einer Glaspipette oder eines Papiertrichters gefüllt werden. Nachdem der Lederboden und die das Eisengefäss umhüllende Messingkapsel mit ihrer bis zum Kopf eingeschraubten Stellschraube *G* aufgeschraubt ist, kann man das Barometer aufrichten, jedoch so, dass der kurze Schenkel der Glasröhre hierbei stets nach oben gerichtet ist, also eine solche Lage einnimmt, dass die noch im Gefäss befindliche Luft beim langsamen Aufrichten des Instrumentes entweichen kann. Zur Erleichterung des Luftzutritts löftet man den Verschlussknopf *S*, wenn das Barometer noch um ca. 45° geneigt ist, und richtet es dann langsam bis zur senkrechten Lage auf.

Beim Transport eines zusammengesetzten Barometers schraubt man das Quecksilber ganz in die Höhe, kehrt das Instrument, nachdem es mit dem Knopf *S* verschlossen ist, um und transportirt es auch in dieser Lage.

Die Einstellung des Barometers.

In derselben Weise, wie man beim Fortinschen Barometer die Oberfläche des Quecksilbers bis zu der bekannten Marke hebt, bewegt man hier mit der Schraube *G* die Quecksilbersäule im kurzen Schenkel, bis ihre Kuppe die Kanten des Nullpunktvisirs zu berühren scheint. Darauf vollzieht man die Einstellung mit dem Nonius *N*. Nach geschehener Ablesung ist es zweckmässig, das Quecksilber wieder tief unter den Nullpunkt zurückzuschrauben, damit an dieser Stelle nicht ein Erblinden des Glases stattfinden kann.

Die Prüfung der Einstellvorrichtungen und Ermittelung der Konstanten.

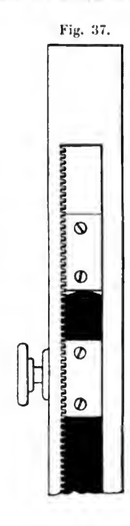
Das Heben des Quecksilbers bewirkt die gleichmässige Wölbung der beiden Kuppen, ausserdem lässt sich mit diesem Instrument der Einfluss der in der Torricellischen Leere zuweilen vorhandenen Luft bestimmen, indem man durch Anheben

des Quecksilbers den luftleeren Raum verkleinert, das Nullpunktvisir entsprechend höher stellt und die nun vorzunehmende Ablesung mit der am Nullpunkt der Theilung gefundenen vergleicht. Zur Kontrole der Koincidenz der Visirebene am Nonius mit dem Nullstrich desselben stellt man das Quecksilber auf das Nullvisir scharf ein, verschiebt letzteres darauf ein wenig nach oben und nimmt nun dieselbe Einstellung mit dem nach unten geführten Nonius N vor. Der Nullpunkt desselben muss dann ebenfalls den Nullstrich der Skala markiren.

§ 22. Das Fortinsche Reisebarometer.

Das Gefäss dieses Barometers (Fig. 33, Seite 55) besteht aus einem Cylinder von Buchsbaumholz, dessen Boden aus einem Beutel von Schafleder gebildet ist. Ein Metallcylinder, in welchen der Holzcylinder eingeschraubt ist, hat in seinem Boden eine Führung, durch welche eine vertikale Schraube von unten gegen eine an dem Beutel befestigte Platte drückt. Zwischen dem Buchsbaumcylinder und dem mit langen Stangenschrauben über ihm befestigten Deckel ist ein Glascylinder eingeschaltet, welcher das Niveau des Quecksilbers im Gefäss zu beobachten gestattet. Durch eine Oeffnung im Deckel ragt die Quecksilberröhre in das Quecksilbergefäss hinein. Ein Lederverschluss der Deckelöffnung lässt der Luft den nöthigen Zutritt zum Quecksilberniveau im Gefäss. Die Röhre ist von einer Messinghülse umgeben, in welcher für die Ablesung zwei gegenüberliegende Schlitze vorhanden sind. Auf der Messinghülse ist die Millimetertheilung angebracht, deren Nullpunkt die Spitze eines vom Deckel des Gefässes nach unten gerichteten Elfenbeinstiftes bildet. In dem Ablesungsschlitz befindet sich ein Nonius, welcher sich entweder vermittelst einer Triebschraube an dem der Theilung gegenüberliegenden gezahnten Rande des Schlitzes auf und nieder bewegen lässt (Fig. 37), oder an einem verschiebbaren breiten Ring befestigt ist, wie Fig. 34 zeigt. In letzterem Falle wird die feinere Einstellung durch eine diesen Ring umfassende Schraube bewirkt.

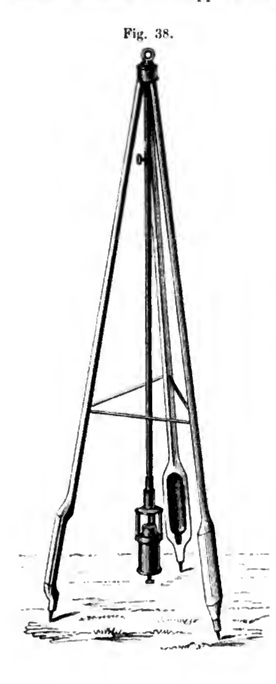
Fig. 37.



Das Barometer wird auf einem dreibeinigen Stativ, welches zugleich zusammengeklappt als Transportkasten dient (Fig. 38), in cardanischen Ringen aufgehängt. Will man eine Ablesung machen, so schraubt man zunächst das Quecksilberniveau gegen den Elfenbeinstift. Man beobachtet dabei das Spiegelbild des Stiftes auf der Quecksilberfläche und kann sehr scharf die Berührung des Spiegelbildes mit der Spitze erkennen. Sodann

stellt man den Nonius ein, indem man die Horizontalebene der Unterkanten desselben die Kuppe berühren lässt, und kann dann ablesen.

Fig. 38.



Für den Transport wird der Beutel des Gefässes so weit in die Röhre geschraubt, dass die ganze Höhe und der übrig bleibende Theil des Gefässes mit Quecksilber gefüllt ist. Es kann dann der Stoss des Quecksilbers während des Transportes die Glasröhre nicht beschädigen und auch keine Luft in dieselbe eintreten. Beim Transport muss das Quecksilbergefäss sich oben befinden.

Vermuthet man Luft in der Quecksilberröhre, so neigt man das Barometer allmälig, bis dessen Röhre ganz gefüllt ist, und dreht es dann vorsichtig ganz um, so dass sich das Gefäss oben befindet. Etwa in der Röhre befindliche Luft steigt hierbei in das Gefäss. Durch leichtes Klopfen am Ende der Röhre während dieser Manipulation wird das Entweichen der Luft noch erleichtert.

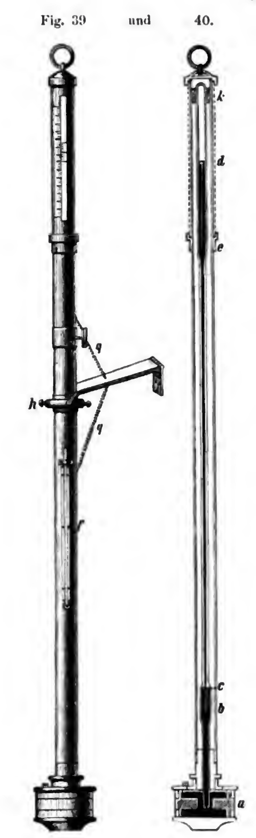
Verlust an Quecksilber ändert nicht die Angabe des Instrumentes. Bei Höhenmessungen, wozu diese Barometer besonders geeignet sind, kann es sogar nöthig werden, Quecksilber durch ein hierzu im Deckel befindliches Schraubenloch abzulassen, weil das Gefäss das bei stark vermindertem Luftdruck aus der Röhre tretende Quecksilber nicht mehr zu fassen vermag. Für den Transport muss aber immer soviel Quecksilber im Gefäss sein, dass durch Hinaufschrauben des Bodens die Röhre vollständig gefüllt wird.

Die als Normalbarometer benutzten Instrumente Fortinscher Konstruktion unterscheiden sich nicht wesentlich von dem beschriebenen. Statt der Elfenbeinspitze findet man öfters eine Stahlschneide als Nullpunkt der Skala, und statt des ledernen Beutels bildet ein schwerer massiver Glascylinder, der sich dicht an die Wände des Gefässes anschmiegt, den Boden desselben.

§ 23. Das Marinebarometer.

Kew-Modell.

Fig. 39 und 40.



Das cylinderförmige Gefäss *a*, Fig. 40, ist von Eisen und hat an der inneren Wandung einen ringförmigen Vorsprung, welcher den inneren Raum verringert und daher weniger Quecksilber zur Füllung des Barometers erforderlich macht. Das Gefäss hat eine Oeffnung, die durch eine Schraube verschlossen ist, so dass kein Quecksilber herauslaufen kann. Der Durchmesser des Gefässes, welcher 51,5 mm beträgt, ist bedeutend grösser als der der Quecksilberröhre. Diese taucht mit 3 mm Oeffnung in das Quecksilber des Gefässes und erweitert sich nach oben zu einem Durchmesser von 6 mm, welchen sie beibehält, bis sie bei *b* die sogenannte Buntensche Luftfalle bildet. Dieselbe hat den Zweck, das Eindringen von Luft in weiter aufwärtsliegende Theile der Quecksilberröhre zu verhindern. Die Einrichtung der Buntenschen Vorrichtung zeigt Fig. 41. Wenn Luft aus dem Gefäss zwischen dem Quecksilber und der Röhrenwandung aufsteigen sollte, so fängt sich dieselbe in dem engen Raum *rr* um die von oben hereinragende Spitze. Diese Spitze ist eine kurze Kapillarröhre von 0,2 mm Durchmesser. Dieselbe vermindert die

Fig. 41.

durch Schiffsbewegungen hervorgerufenen Schwankungen (das sogenannte Pumpen) der Quecksilberkuppe bei *d*, deren Stand abgelesen wird, bewirkt aber andererseits auch, dass das Quecksilber nur langsam dem Luftdruck folgt. Der zwischen *c* und *e* liegende Theil hat einen Durchmesser von 1 mm und erweitert sich oberhalb *e* zu 8 mm Durchmesser. Da das Gefäss einen Durchmesser von 51,5 mm hat, sind die Werthe der Theilungsintervalle ungefähr gleich 0,98 mm.*) Die Quecksilberröhre geht unten durch einen eisernen Cylinder, welcher an dem Gefäss festgeschraubt ist, und wird oben durch einen Korkring *k* in ihrer Lage gehalten. Die die Röhre umgebende Messinghülse *bd* ist auf dem eisernen Cylinder unten festgeschraubt. Das Instrument ist bei *h*, Fig. 39, cardanisch an einem Arm aufgehängt, welcher in der Wand mittelst Schrauben befestigt wird. Die spiralförmigen Drähte *gg* mässigen die durch das Schwanken des Schiffes entstehenden Eigenbewegungen des Barometers. Die punktirten Linien oberhalb *e* (Fig. 40) deuten einen Glascylinder an, welcher über die versilberte Skala geschoben wird, um diese gegen äussere Einflüsse zu schützen. Dieser Glascylinder wird oben und unten durch eine ringförmige Fassung festgehalten. Um störende Reflexe des auf die Quecksilberkuppe fallenden Lichtes abzuhalten, ist der Glascylinder seiner Länge nach 1 cm breit matt polirt. Bei *f* ist ein Thermometer angebracht, dessen Röhre unten gebogen ist, so dass sich sein Gefäss innerhalb der Hülse des Barometers befindet.

Die Prüfung des Marinebarometers erstreckt sich zunächst darauf:

1. Ob Luft oder Feuchtigkeit in der Toricellischen Leere und im Quecksilber enthalten ist. Dies erkennt man hinreichend genau, wenn man das Barometer allmälig neigt und, nachdem sich dessen Röhre gefüllt hat, vorsichtig umkehrt und dann mit einer Lupe die Quecksilbersäule betrachtet, wobei sich Luftblasen als kleine Unebenheiten oder Flecke zu erkennen geben. Dem Gehör nach kann man die Prüfung vornehmen, indem man das Quecksilber gegen das obere Ende der Röhre schlagen lässt, wo ein scharfer metallischer Klang die Luftleere anzeigt. Dieses nur unter Anwendung grösster Vorsicht zulässige Verfahren ist indessen zu gefährlich, um es allgemein zu empfehlen.

Man prüft ferner:

2. Ob das Barometer nicht zu stark pumpt und nicht zu träge ist. Bei den in der vorstehenden Beschreibung angegebenen Dimensionen, die aber bei einem fertigen Barometer nicht mehr zu kontroliren sind, ist die richtige Mitte zwischen beiden Unvollkommenheiten innegehalten. Als Probe nimmt man an, dass ein Barometer, nachdem es soweit geneigt wurde, dass sich die Röhre vollständig mit Quecksilber füllte, bei vertikaler Aufhängung ungefähr 20 Minuten braucht, um wieder auf den Stand hinabzusinken, welcher dem eben herrschenden Luftdruck entspricht. Endlich ist eine Vergleichung des Barometers mit einem Normalbarometer erforderlich.

*) Nach der Formel Seite 55 ist ein Skalentheil hier: $1 - \frac{8^2}{51{,}5^2 - 6^2}$.

§ 24. Die Vergleichung der Barometer.

Am zweckmässigsten ist es, die Vergleichungen des Marinebarometers mit einem Normalbarometer in einem luftdicht schliessenden, mit einer Luftpumpe versehenen Gehäuse vorzunehmen, weil man so die Vergleichungen über die ganze Ausdehnung seiner Skala in kürzerer Zeit machen und sich davon überzeugen kann, dass das Quecksilbergefäss gross genug ist. Ein solches Gehäuse muss von Eisen sein und oben und unten Fenster haben, durch welche die Skala der Barometer abzulesen und die Einstellung des Normalbarometers auf seinen Nullpunkt sich beobachten lässt. Die Ablesungen geschehen mittelst eines Fernrohres, welches sich an einem 5 bis 6 Fuss von dem Gehäuse befindlichen Kathetometer befindet und sich an diesem auf und ab schieben lässt. Das Fernrohr ist mit zwei Fäden versehen, von denen der eine fest und der andere durch eine Mikrometerschraube bewegbar ist, so dass der Unterschied zwischen dem nächsten Theilstrich der Barometerskala und der Höhe der Quecksilbersäule entweder mittelst der Theilung des Kathetometers oder mittelst des Nonius an der Mikrometerschraube gemessen werden kann. Zuerst bringt man durch Auspumpen der Luft die Quecksilbersäule des Normalbarometers bis zu dem Skalentheil herab, welcher ungefähr 0,5 mm tiefer liegt als der unterste Theilstrich des Marinebarometers. Fällt der letztere dann nicht bis zum untersten Theilstrich, so ist dessen Gefäss zu eng und muss geändert werden, oder es befindet sich zu viel Quecksilber in demselben. Nachdem man sich von der genügenden Grösse des Gefässes überzeugt hat, lässt man das Quecksilber, indem man den Hahn der Luftpumpe ein wenig öffnet und sogleich wieder schliesst, etwas ansteigen und beginnt nach Verlauf von einer halben Stunde die Ablesungen beider Barometer. Nachdem mehrere Ablesungen gemacht worden sind, lässt man das Quecksilber des Normalbarometers durch Einlassen von Luft ungefähr 10 mm ansteigen und nimmt nach Verlauf einer halben Stunde eine neue Reihe von Ablesungen vor. In dieser Weise dehnt man dieselben successive über die ganze Skala des Marinebarometers aus, indem man anfangs Luft ins Gehäuse einströmen lässt und später die Luft in demselben mittelst der Pumpe allmälig komprimirt.

Aus den für einen jeden Luftdruck erhaltenen Ablesungen wird dann das Mittel genommen und diese Mittel beider Barometer mit einander verglichen. Die etwaige Differenz ist die Korrektion des Marinebarometers für den betreffenden Luftdruck. Die einzelnen Korrektionen für die verschiedenen Stände dürfen nur wenig von einander differiren, so dass man als Gesammtkorrektion das Mittel aus allen erhaltenen Korrektionen annehmen kann, was nur dann zulässig ist, wenn der Unterschied der Gesammtkorrektion gegen keine der einzelnen Korrektionen mehr als 0,1 mm beträgt.

Die Ablesungen auf 0° Temperatur zu reduciren, ist nicht erforderlich, weil man annehmen kann, dass beide Barometer gleiche Temperatur, nämlich die des inneren Raumes des Gehäuses, haben.

Steht ein luftdicht schliessendes Gehäuse mit Luftpumpe nicht zur Verfügung, so kann man die Korrektion des Marinebarometers nur durch möglichst viele Vergleichungen mit einem Normalbarometer ermitteln. In diesem Falle müssen die abgelesenen Barometerstände vorher auf 0° Temperatur reducirt werden. Die Beobachtungen sollte man wegen der Trägheit des Marinebarometers zu einer Zeit vornehmen, wo der Luftdruck sich wenig ändert.

Das Barometer ist so aufzuhängen, dass es frei schwingen, stets eine genaue vertikale Stellung einnehmen kann und möglichst wenig von den stampfenden Bewegungen des Schiffes beeinflusst wird. Der Ort der Aufhängung muss ferner vor starkem Temperaturwechsel, also vor Sonnenschein sowie der strahlenden Wärme von Lampen und Oefen, geschützt sein. Zur genauen Einstellung ist erforderlich, dass das Licht von der dem Beobachter abgekehrten Seite auf die Kuppe fällt, und dass man das Auge in die ungefähre Höhe derselben bringt.

Beim Schiessen mit schweren Schiffsgeschützen ist es rathsam, das Barometer abzunehmen. Zu diesem Zweck neige man es langsam um etwa 45° und warte, bis die Röhre sich ganz mit Quecksilber gefüllt hat, alsdann bewahre man es in horizontaler Lage im Transportkasten auf. Beim Transport ist das Barometer gleichfalls horizontal zu halten.

§ 25. Aneroid- und Metallbarometer.

Diese Klasse von Barometern misst den auf einen von elastischen Wänden umschlossenen Hohlraum wirkenden Druck der Luft an der Biegung dieser elastischen Wände bezw. von Metallfedern unter Zugrundelegung der Erfahrung, dass die Formveränderung derselben dem Druck proportional ist.

Das Baromètre holostérique von Naudet (Fig. 42 und 43).

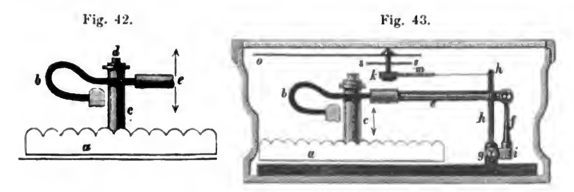
Bei diesem Aneroidbarometer ist über einer flachen, fast luftleeren Metallbüchse mit wellenförmigem elastischen Deckel *a* eine breite Lamellenfeder *b* befestigt. In der Mitte des elastischen Deckels befindet sich ein Metallcylinder *c*, welcher die Lamellenfeder durchdringt und dieselbe mittelst eines Zapfens *d* nach der Metalldose zu anspannt. Die Feder hält somit dem auf der Metalldose lastenden Druck das Gleichgewicht. Die auf- und niedergerichtete Bewegung wird nun auf eine Drehaxe übertragen, und von dieser aus wird vermittelst einer Kette und gegenwirkenden Spiralfeder ein Zeigerwerk in Bewegung gesetzt. Die Anordnung im Einzelnen ist folgende: In der Verlängerung der Lamelle befindet sich eine Stange *e*, welche durch ein Kugelgelenk mit

einer zweiten, dem Cylinder *c* parallel gerichteten Stange *f* zu einem Knie verbunden ist. Die Stange *f* wirkt an einer Kurbel *i* der Axe *g* und dreht mit derselben den Hebel *h*. Dieser Hebel wirkt an einer Kette *m*, welche um die zur Axe *g* senkrecht gerichtete Trommel *k* gewickelt ist. Der Zugrichtung der Kette an der Trommel wirkt die Spiralfeder *s* entgegen. Auf der Axe der Trommel ist der Zeiger *o* des Aneroids aufgestreift, welcher an einer empirisch, aber in gleiche Theile getheilten Skala den Luftdruck anzeigt. Korrektionen lassen sich an dem Instrument vornehmen:

1. indem man entweder die Feder *b* mittelst einer Schraube in der Richtung der Bewegung *c* verstellt und dadurch den absoluten Stand des Zeigers regulirt (Standkorrektion),

2. indem man mit Hülfe zweier Schräubchen den Angriffspunkt von *f* an der Kurbel der Axe *g* nähert oder entfernt und dadurch den Weg des Zeigers mit dem Werth der Skalentheile in Uebereinstimmung bringt (Skalenkorrektion).

Fig. 42. Fig. 43.



Die erstere Korrektion lässt sich von aussen mittelst eines Stellschlüssels jeder Zeit bewirken, während zur zweiten ein Oeffnen des Instruments erforderlich ist, welches im Allgemeinen nur durch den Mechaniker vorzunehmen ist, da diese Korrektion unveränderlich bleibt. Zur Bestimmung der inneren Temperatur ist ein Thermometer auf dem Zifferblatt angebracht, um die Temperaturkorrektion in Rechnung ziehen zu können.

In den vorstehenden Zeichnungen ist nur eine schematische Uebersicht des Mechanismus gegeben. Alle Theile, welche zur Befestigung in der Büchse dienen, ebenso die an den Hebeln vorhandenen Kontregewichte etc. sind fortgelassen.

Das Metallbarometer von Bourdon.

Bei dieser Konstruktion ist eine elastische, kreisförmig gebogene Röhre, welche luftdicht verschlossen ist, in der Mitte an dem Boden des Instrumentengehäuses befestigt, so dass sich beide Enden frei bewegen

können. Ueberwiegt der äussere Luftdruck den inneren konstanten Druck, so krümmt sich die Röhre *aa* (Fig. 44) zusammen, beide Enden nähern sich einander. Zwischen den beiden Röhrenenden ist nun ein doppelarmiger Hebel um eine zur Ebene der Metallröhre senkrechte Axe drehbar. Eine um diese Axe aufgerollte Spiralfeder wirkt bei Abnahme des äusseren Drucks der Zusammenkrümmung der Röhre entgegen. Mit der Axe dreht sich ein gezahnter Sektor, welcher an die in der Mitte der Instrumentendose befindliche Axe eines Zeigers angreift. Auf diese Weise werden die linearen Aenderungen des Abstandes der Röhrenenden auf einen zum Instrument centrischen Zeiger übertragen.

Fig. 44.



§ 26. Die Korrektion der Aneroid-Ablesungen.

Aneroidbarometer sind für den praktischen Gebrauch an Bord besonders geeignet, weil sie viel empfindlicher sind als die Marine-Quecksilberbarometer. Aber die letzteren werden dadurch nicht entbehrlich; das Quecksilberbarometer dient zur Bestimmung des absoluten Luftdrucks, während das Aneroidbarometer die Schwankungen desselben relativ mit grosser Genauigkeit erkennen lässt. Für die meteorologischen Aufzeichnungen sind daher die Angaben des ersteren, für den praktischen Gebrauch, bei vorübergehenden Witterungserscheinungen, die des letzteren von grösserem Werth.

Das Aneroidbarometer wird in seinen Angaben erst unmittelbar mit denen des Quecksilberbarometers vergleichbar, wenn man die Konstanten des Instruments kennt und berücksichtigt. Wie bereits bei Beschreibung des Aneroidbarometers erwähnt, lässt sich der absolute Stand sowie der Weg des Zeigers, welcher einem Millimeter Druckveränderung entspricht, am Instrument reguliren. Der übrigbleibende Fehler kann daher auf eine geringe Grösse beschränkt werden. Der Temperaturkoëfficient lässt sich sehr einfach ungefähr ermitteln, indem man bei konstantem Luftdruck zwei Ablesungen bei verschiedener Temperatur vornimmt und die Differenz der abgelesenen Barometerstände der Temperaturdifferenz proportional setzt.

Der Barometerstand wird niemals ganz konstant bleiben; man muss dann die Differenz der beiden auf 0° reducirten Angaben des Quecksilber-

barometers in Rechnung setzen: Ein Aneroidbarometer wurde vor dem Fenster bei + 5° abgelesen zu 757 mm. Der gleichzeitig abgelesene, auf 0° reducirte Stand des Normalbarometers war 758,1 mm. Eine zweite Ablesung im Zimmer bei 15,2° ergab 757,5, der gleichzeitig reducirte Normalbarometerstand 757,2 mm. Der Luftdruck hatte also, unabhängig von der Temperatur, in der Zwischenzeit um 0,9 mm abgenommen. Fügt man diese 0,9 mm der zweiten Aneroidablesung wieder hinzu, so erhält man für den konstanten Druck von 758,1 mm die Aneroidangaben

757 mm	bei 5°
758,4 mm	bei 15,2°
1,4 mm	10,2°

Differenz.

1,4 mm Druckerhöhung entspricht also 10,2° Temperaturzunahme, und man erhält als Konstante für einen Grad $\frac{1,4}{10,2} = 0,13$ mm. Die Angaben des Aneroids auf 0° reducirt 756,5 mm und 756,4 mm. Dies mit der Angabe des Normalbarometers 758,1 mm verglichen, würde eine Standkorrektion von + 1,65 ergeben. Als erste Annäherung erhält man aus diesem einfachen Vergleich für die Korrektion des abgelesenen Aneroidstandes (A) auf den Normalbarometerstand bei 0° (B_0):

$$B_0 = A + 1,65 - 0,13\, t.$$

Durch eine Reihe solcher Beobachtungen kann man nun die Genauigkeit des Resultats beträchtlich erhöhen. Man muss aber Zweierlei berücksichtigen:

1. Das Aneroidbarometer muss immer lange genug der veränderten Temperatur ausgesetzt gewesen sein, dass man annehmen kann, die inneren Theile haben gleichmässig die neue Temperatur angenommen.

2. Der Luftdruck muss nahe konstant bleiben vor und nach der Beobachtung, weil beide Instrumente nicht gleich empfindlich gegen die Schwankungen desselben sind.

Hat man die Standkorrektion genau genug ermittelt, so kann man dieselbe an dem Instrument korrigiren und hat dann nur die Verschiedenheit der Temperaturkorrektion beider Barometer zu berücksichtigen, um vergleichbare Resultate zu erhalten.

§ 27. Genauere Feststellung der Konstanten.

Für genauere Feststellungen der Konstanten der Aneroide bedient man sich längerer Reihen von Vergleichen mit einem Normalbarometer und reducirt die Beobachtungen mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate. An dem folgenden Beispiel wird ein einfaches Verfahren dieser Art ersichtlich werden.

Beispiel.

Zur Bestimmung der Temperaturkorrektion werden zunächst folgende Vergleiche vorgenommen:

Normalbarometer auf 0° reducirt	Aneroidbarometer	
	Ablesung	Temperatur
758,1	757,0	+ 5°
757,6	757,2	+ 9,8°
757,2	757,5	+ 15,2°
756,8	757,4	+ 18°

Die kleinen Aenderungen des Normalbarometers zu den Ablesungen des Aneroids hinzugelegt, giebt:

$$757{,}0 + 0 \;\;= 757{,}0 \text{ bei } 5^\circ$$
$$757{,}2 + 0{,}5 = 757{,}7 \;\; „ \;\; 9{,}8^\circ$$
$$757{,}5 + 0{,}9 = 758{,}4 \;\; „ \;\; 15{,}2^\circ$$
$$757{,}4 + 1{,}3 = 758{,}7 \;\; „ \;\; 18^\circ.$$

Im Folgenden bezeichnet A die Ablesung des Aneroids, C die Temperaturkorrektion, so dass die korrekte Ablesung wird

$$A_0 = A - Ct.$$

Um die Rechnung möglichst zu vereinfachen, setzt man $C = \frac{y}{10}$ und für das vorliegende Beispiel $A_0 = 750 + x$. Dann erhält die obige Gleichung die Form:

$$750 + x = A - \frac{y}{10}\,t, \text{ oder auch:}$$

$$x + \frac{t}{10}\,y = A - 750.$$

In die letzte Gleichung die verschiedenen Werthe von t und A eingesetzt, giebt:

$$x + 0{,}5 \;\; y = 7{,}0$$
$$x + 0{,}98\, y = 7{,}7$$
$$x + 1{,}52\, y = 8{,}4$$
$$x + 1{,}8 \;\; y = 8{,}7.$$

Es ist, wenn $\frac{t}{10} = m$ und $A - 750 = n$ gesetzt wird:

$m_1 = 0{,}5$	$n_1 = 7{,}0$	$m_1^2 = 0{,}25$
$m_2 = 0{,}98$	$n_2 = 7{,}7$	$m_2^2 = 0{,}9604$
$m_3 = 0{,}52$	$n_3 = 8{,}4$	$m_3^2 = 2{,}3104$
$m_4 = 1{,}8$	$n_4 = 8{,}7$	$m_4^2 = 3{,}2400$
$[m] = 4{,}8$	$[n] = 31{,}8$	$[m^2] = 6{,}7608$

$$m_1\, n_1 = 3{,}5$$
$$m_2\, n_2 = 7{,}546$$
$$m_3\, n_3 = 12{,}768$$
$$m_4\, n_4 = 15{,}660$$
$$[m\, n] = 39{,}474$$

Da vier Beobachtungen gemacht wurden, hat man also die Gleichungen:

$$4\,x + [m]\,y = [n]$$
$$[m]\,x + [m^2]\,y = [mn] \text{ oder}$$
$$4\,x \;\; + 4{,}8\,y \;\;\; = 31{,}8$$
$$4{,}8\,x + 6{,}7608\,y = 39{,}474.$$

Dividirt man die oberste durch 4 und die unterste durch 4,8, so erhält man:

$$(1) \qquad x + 1{,}2\,y = 7{,}95,$$
$$(2) \qquad x + 1{,}4085\,y = 8{,}2238,$$

und durch Subtraktion der ersten von der zweiten:

$$0{,}2085\,y = 0{,}2738,$$

mithin $y = 1{,}313$ und $C = \frac{y}{10} = 0{,}1313$.

Der Werth von y in die Gleichung (1) eingesetzt, giebt

$$x = 6{,}37, \text{ mithin } A_0 = 756{,}37.$$

Subtrahirt man die Temperaturkorrektion von den reducirten Ständen des Aneroidbarometers, so erhält man Werthe, welche gut mit 756,37 übereinstimmen:

$$757{,}0 - 5 \times 0{,}1313 = 756{,}34$$
$$757{,}7 - 9{,}8 \times 0{,}1313 = 756{,}41$$
$$758{,}4 - 15{,}2 \times 0{,}1313 = 756{,}34$$
$$758{,}7 - 18 \times 0{,}1313 = 756{,}37.$$

Die Skalen- und Standkorrektion werden zusammen durch eine Rechnung bestimmt. Der Skalenkoëfficient ist die Grösse, mit welcher ($A_0 - 700$) multiplicirt wird, und die Standkorrektion diejenige, welche zu dem Stand des Aneroidbarometers, nachdem an dessen Ablesung die Temperatur- und Skalenkorrektion angebracht ist, noch addirt oder von demselben subtrahirt werden muss, um den auf 0° reducirten Stand des Quecksilberbarometers zu erhalten.

Zwischen demselben Aneroidbarometer, dessen Temperaturkoëfficient = 0,1313 gefunden, und dem Normalbarometer fanden folgende, auf Vergleichungen basirte Beziehungen statt:

Normalbarometer auf 0° reducirt	Aneroidbarometer auf 0° reducirt	Normalbarometer — Aneroidbarometer
745,33	743,42	1,91
745,95	744,07	1,88
750,17	748,30	1,87
756,39	754,61	1,78
761,38	759,70	1,68
764,77	763,12	1,65

Skalenkoëfficient und Standkorrektion berechnet man mittelst der Gleichung

$$S + P(A_0 - 700) = B_0 - A_0,$$

in welcher B_0 der auf 0° reducirte Stand des Quecksilberbarometers und A_0 des Aneroidbarometers, S die Standkorrektion und P der Skalenkoëfficient ist.

Um mit kleinen Zahlen zu rechnen, setzt man $10\,P = y$, $\frac{A_0 - 700}{10} = b$, ferner $S = x$ und $B_0 - A_0 = d$.

Dann lautet die obige Gleichung:

$$x + by = d,$$

und man hat für vorliegendes Beispiel die Gleichungen:

$$x + 4{,}34\,y = 1{,}91$$
$$x + 4{,}41\,y = 1{,}88$$
$$x + 4{,}83\,y = 1{,}87$$
$$x + 5{,}46\,y = 1{,}78$$
$$x + 5{,}97\,y = 1{,}68$$
$$x + 6{,}31\,y = 1{,}65.$$

x und y werden wie vorhin mittelst der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Es ist

$b_1 = 4{,}34$	$d_1 = 1{,}91$
$b_2 = 4{,}41$	$d_2 = 1{,}88$
$b_3 = 4{,}83$	$d_3 = 1{,}87$
$b_4 = 5{,}46$	$d_4 = 1{,}78$
$b_5 = 5{,}97$	$d_5 = 1{,}68$
$b_6 = 6{,}31$	$d_6 = 1{,}65$
$[b] = 31{,}32$	$[d] = 10{,}77$
$b_1^2 = 18{,}8356$	$b_1\,d_1 = 8{,}2894$
$b_2^2 = 19{,}4481$	$b_2\,d_2 = 8{,}2908$
$b_3^2 = 23{,}3289$	$b_3\,d_3 = 9{,}0321$
$b_4^2 = 29{,}8116$	$b_4\,d_4 = 9{,}7188$
$b_5^2 = 35{,}6409$	$b_5\,d_5 = 10{,}0296$
$b_6^2 = 39{,}8161$	$b_6\,d_6 = 10{,}4115$
$[b^2] = 166{,}8812$	$[b\,d] = 55{,}7722.$

Man hat demnach die Gleichungen

$$6\,x + 31{,}32\,y = 10{,}77$$
$$31{,}32\,x + 166{,}8812\,y = 55{,}7722.$$

Dividirt man die obere durch 6 und die untere durch 31,32, so erhält man:

$$(1) \qquad x + 5{,}2200\,y = 1{,}7950,$$
$$(2) \qquad x + 5{,}3283\,y = 1{,}7807,$$

und durch Subtraktion der ersten von der zweiten

$$0{,}1083\,y = -0{,}0143$$
$$y = -0{,}132,$$

folglich (da $10\,P = y$) $P = -0{,}0132.$

Setzt man $-0{,}132$ für y in Gleichung (1), so erhält man $x = 2{,}48$ als Standkorrektion. Nach Anbringung der Skalen- und Standkorrektion an die oben angegebenen Stände des Aneroidbarometers erhält man:

Aneroidbarometer auf 0° reducirt	Normalbarometer auf 0° reducirt	Unterschied
745,33	745,33	0,00
745,97	745,95	0,02
750,14	750,17	0,03
757,37	756,39	0,02
761,42	761,38	0,04
764,77	764,77	0,00

§ 28.

Die nachfolgende Tabelle giebt für eine Anzahl von Aneroidbarometern die nach obigem Verfahren ermittelten Temperaturkoëfficienten und Korrektionen:

Prüfungsresultate
von Aneroidbarometern (System Naudet),*)
verfertigt von O. Bohne in Berlin.

Aneroid-barometer	Temperatur-koëfficienten	Skalenkorrekt. 700—800 mm	Standkorrekt. mm
K. M. 155	— 0,119	— 0,001	+ 0,16
„ 116	— 0,055	+ 0,016	— 1,40
„ 121	— 0,068	+ 0,026	— 2,53
„ 117	— 0,176	+ 0,001	+ 0,65
„ 118	— 0,110	+ 0,014	— 1,07
„ 119	— 0,193	+ 0,030	— 0,70
„ 120	— 0,164	+ 0,011	— 0,08
„ 122	— 0,125	+ 0,037	— 1,95
„ 123	— 0,146	+ 0,007	+ 0,01
„ 129	— 0,179	+ 0,032	— 1,18
„ 126	— 0,107	+ 0,019	— 0,95
„ 127	— 0,125	+ 0,004	— 0,32
„ 128	— 0,137	+ 0,022	— 0,90
„ 130	— 0,172	+ 0,018	+ 0,14
„ 131	— 0,145	+ 0,014	— 0,21
„ 124	— 0,165	+ 0,009	+ 0,04
„ 115	— 0,144	+ 0,010	— 0,29
„ 132	— 0,060	+ 0,040	+ 1,78
ohne No.	— 0,142	+ 0,012	— 0,12

§ 29.

Von denjenigen Federbarometern, welche zu dem besonderen Zweck der Höhenmessung konstruirt worden sind, folgt hier die Beschreibung des kompensirten Aneroidbarometers von Bohne und die des Aneroidbarometers mit Mikrometerschraube.

1. Das kompensirte Aneroidbarometer,
System **Naudet**.

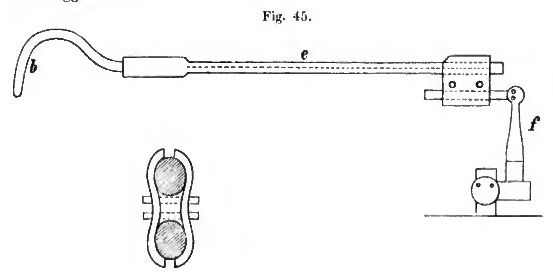
Die Konstruktion dieses Barometers weicht von der auf Seite 65 (Fig. 43) gegebenen Beschreibung wie folgt ab. Die Stange *e* (Fig. 45) besteht aus zwei Lamellen verschiedenen Metalls, die der Länge nach zusammengelöthet sind und deren Längenausdehnung sich gegenseitig aufhebt. Ferner wird die Verbindung zwischen *e* und *f* indirekt durch eine Doppelkammer vermittelt, deren oberer Theil *e* nahe am Ende und deren unterer Theil ein von *f* ausgehendes kurzes Verbindungsstück umfasst. Dasselbe läuft parallel mit *e* und ist an *f* mit einem Kugelgelenk befestigt. Durch diese Einrichtung wird der Einfluss der Temperaturänderung auf das Barometer aufgehoben. Statt des einen Kontragewichtes, wie bei den

*) Siehe § 29, 1.

gewöhnlichen Aneroidbarometern, sind zur Erhöhung der Empfindlichkeit deren zwei angebracht.

Die Skala des Barometers ist mit Rücksicht auf die zu messende Maximalhöhe entsprechend bemessen. Dem Barometer ist zur Bestimmung der Lufttemperatur ein besonderes Thermometer beigegeben, und der ganze Apparat ist in einem hölzernen Transportkasten mit Tragriemen untergebracht. Bei Ausführung einer Beobachtung ist das Barometer stets horizontal zu halten und vor Ablesung des Standes wenigstens 10 Minuten in der gleichen Höhenlage zu belassen. Die Kugel des im Barometer befindlichen Thermometers ist unterhalb der Skalenscheibe und die Kapillarröhre in gleicher Höhe der letzteren angebracht, damit der Zeiger ungehindert über den Skalenkreis sich bewegen kann. Der Einstellzeiger ist weggelassen.

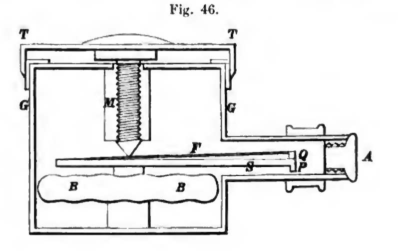
Fig. 45.



•2. Das Aneroidbarometer mit Mikrometerschraube, System **Goldschmid.**

Wie an den Naudetschen Barometern ist der Hauptbestandtheil eine luftleere Büchse mit gewelltem Boden und Deckel. Fig. 46 stellt den

Fig. 46.



Vertikalschnitt eines solchen Instrumentes dar. *B B* ist die luftleere Büchse, welche mit dem Boden des Gehäuses *G G* fest verbunden ist. Auf der Mitte des Büchsendeckels befindet sich eine horizontale Stange *S*, die sich mit ersterem, dem Luftdrucke folgend, auf und nieder bewegt. Der Kopf *P* dieser Stange ist auf der Vorderseite versilbert und mit einem horizontalen Strich versehen. Auf der Stange *S* ist eine Fühlfeder *F* aufgeschraubt, welche ebenfalls in einem vorn versilberten Kopf *Q* mit horizontalem Strich endigt. Die Fühlfeder *F* wird beim Beobachten durch Umdrehung der Mikrometerschraube *M* in der Richtung des Uhrzeigers abwärts gedrückt, bis der auf dem Kopf *Q* befindliche Strich eine gerade Linie mit dem Striche des Kopfes *P* bildet (Fig. 47). Der letztere bewegt sich neben einer senkrecht stehenden Skala, deren Theile einer bestimmten Zahl von Millimetern des Barometers entsprechen. Den Kopf der Schraube *M* bildet eine in hundert gleiche Theile getheilte Trommel *TT*, deren Indexstrich sich aussen an dem Gehäuse (*J*, Fig. 48) befindet. *A* ist eine verstellbare Lupe, durch welche man beim Einstellen nach den Strichen auf den Köpfen *P* und *Q* sieht. Die Ablesung ist sehr einfach. Es falle z. B. die Verlängerung der Striche zwischen die Theilstriche 700 und 800 der Skala und gleichzeitig habe die Trommel durch Drehung die Lage, welche die Figur 47 zeigt, erhalten, so ist die Ablesung 750,5 mm.

Fig. 47.

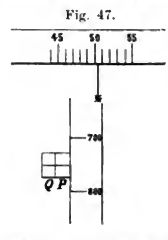
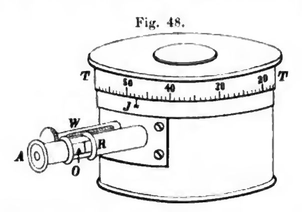


Fig. 48 ist die äussere Ansicht des Instrumentes. *W* ist eine Röhre, in welche ein Thermometer zur Bestimmung der Temperatur des Instrumentes eingeschraubt ist. *A* ist die Röhre mit der Lupe, *O* eine seitliche Lichtöffnung zur Beleuchtung der Köpfe *P* und *Q*, die durch Drehung des Ringes *R* geschlossen werden kann, um beim Transport den inneren Mechanismus vor Staub zu schützen. *J* ist der Indexstrich.

Fig. 48.

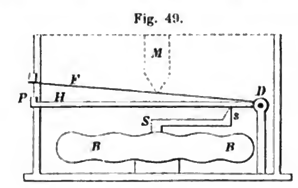


Vor dem Einstellen muss man nachsehen, ob der Kopf *Q* höher steht als der Kopf *P*. Steht er tiefer, so hat man ihn durch Drehung der Trommel gegen die Richtung des Uhrzeigers höher zu bringen. Dann klopft man leicht auf den Deckel des Instrumentes und bringt die Striche auf den Köpfen zur Uebereinstimmung. Nach dem Ablesen ist der Kopf *Q* stets aufwärts zu schrauben, damit bei etwa abnehmendem Luftdruck der Fühlhebel nicht auf den Büchsendeckel drückt und sich infolge dessen verbiegt.

Die Instrumente sind in Etuis eingeschraubt, aus welchen sie nicht genommen werden dürfen. Jedem Instrument werden von dem Verfertiger Korrektionstabellen für Temperatur und Skala, sowie Reduktionstabellen mitgegeben.

Die Konstruktion der grösseren Goldschmidschen Barometer, welche vornehmlich zur Bestimmung von Höhen dienen, ist, wie ein Theil des Vertikalschnittes, Fig. 49, zeigt, etwas von der eben beschriebenen verschieden. Es ist hier nämlich in der Mitte des Büchsendeckels ein Arm S mit einer Schneide s befestigt, auf welcher ein einarmiger Hebel H ruht, dessen Drehpunkt in D liegt, während sein Ende den Kopf P trägt. Durch diese Anordnung werden die Bewegungen des Büchsendeckels vergrössert zur Anschauung gebracht. F ist der Fühlhebel. Diese Instrumente haben nur eine Röhre, welche zur Aufnahme der Thermometers dient. Die Lupe befindet sich an einem drehbaren Arme, an welchem ausserdem ein Zeiger angebracht ist. Vor dem Einstellen muss man den Arm so drehen, dass dieser Zeiger auf den Strich des Kopfes P zeigt.

Fig. 49.



§ 30. Die Schwere-Korrektion.

Zwischen Quecksilber- und Federbarometern besteht noch der Unterschied, dass bei den ersteren der beobachtete Luftdruck abhängig ist vom Gewicht der Quecksilbersäule, also mit der Schwerkraft veränderlich ist, bei letzteren dagegen diese Abhängigkeit wegfällt. Da die Beschleunigung der Schwere g nach dem Aequator hin abnimmt, so vermindert sich der Gegendruck, welchen die Quecksilbersäule der Luftspannung bietet, nach dem Aequator zu. Infolge dessen steht das Quecksilber-Barometer bei gleicher Spannung unter dem Aequator höher als unter höheren Breiten. Das Aneroidbarometer aber wird gegen das Quecksilberbarometer nach dem Aequator zu eine wachsende positive Korrektion erfordern.

Nach Listings Zusammenstellung ist der Werth von g

unter 45° Breite 9,80617
unter dem Aequator 9,78073

und lässt sich für jede Breite darstellen durch die Formel

$$9{,}80617 - 0{,}02544 \cos 2\varphi \text{ oder}$$
$$g = g_{45^\circ}(1 - 0{,}00259 \cos 2\varphi).$$

Ebenso muss auch der Barometerstand b variiren. Wenn man die Spannung der Atmosphäre unter dem 45sten Breitengrade zu Grunde legt, so erfordert jeder einer Breite φ entsprechende Quecksilber-Barometerstand die Reduktion auf $b_{45} = \frac{b}{1 - 0{,}00259 \cos 2\varphi}$.

In geringem Masse nimmt g und damit der Barometerstand auch mit der Höhe ab, wegen der Relation $g_h : g = r^2 : (r + h)^2$, worin r der Erdhalbmesser und h die Höhe über dem Meere ist.

Die Reduktion der Barometerstände auf eine gemeinsame Schwere-Intensität — als welche man diejenige von 45° Breite angenommen hat — ist erst in neuester Zeit in die Meteorologie eingeführt. Die älteren Darstellungen der Vertheilung des Luftdrucks verzeichnen nur Linien gleicher Quecksilber-Barometerstände, erst auf den neuesten Isobaren-Karten sind die Isobaren als Linien gleicher atmosphärischer Spannung zu betrachten.

Die Tabelle III dieses Abschnitts enthält die Schwere-Korrektion für Breite und Höhe vereinigt. (Entnommen aus Jordans Vermessungskunde.)

§ 31. Das Thermobarometer.

Das Thermobarometer (oft auch Hypsometer benannt) ist ein Instrument, welches zur Bestimmung des Luftdrucks ausschliesslich zum Zweck von Höhenmessungen dient. Wasser siedet, wenn die im Innern desselben sich entwickelnden Dämpfe mit dem äusseren Druck im Gleichgewicht stehen. Dies findet für einen Luftdruck von 760 mm bei 100° statt, unter einem Druck von 720 mm aber schon bei 98,5°.

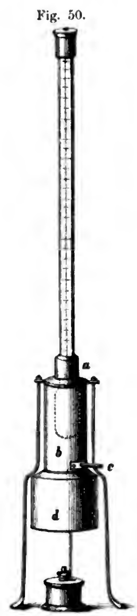
Hierdurch hat man ein Mittel, unabhängig vom Barometer die Spannung der Atmosphäre zu bestimmen (also auch unabhängig von der Schwere-Korrektion); ein Thermobarometer als Normalinstrument und Federbarometer als Interpolationsinstrument sind daher theoretisch die rationellsten Instrumente zur Ermittelung der Luftdruckvertheilung auf der Erdoberfläche.

Die Bestimmung des Siedepunktes ist indessen in der Praxis mit nicht unerheblichen Schwierigkeiten verknüpft. Zunächst ist es erforderlich, um befriedigende Genauigkeit zu erzielen, dass das dazu benutzte Thermometer Hunderttheile eines Grades abzulesen bezw. zu schätzen gestattet. Diese Thermometer verlangen eine besondere Herstellungsweise, damit sie nicht zu zerbrechlich und auch nicht veränderlich in ihren Angaben werden. Sodann erfordert die Bestimmung des Siedepunktes in so engen Genauigkeitsgrenzen, wie sie hier gefordert wird, verschiedentliche Vorsichtsmassregeln und geschickte Handhabung des Instruments.

Das Thermobarometer besteht aus einem Siedegefäss mit darunter angebrachter Spirituslampe und dem Siedethermometer, welches in den

Dampf des kochenden Wassers eintaucht. Das Siedethermometer hat eine sehr dicke Quecksilberkugel und ein sehr feines Rohr, an welchem eine Theilung in der Regel von 80° bis 101° angebracht ist (bei kleineren Instrumenten $\frac{1}{10}$, bei grösseren $\frac{1}{50}$ Grad Theilung). Das Siedethermometer ist über der Kugel mit einem Metallring umgeben, welcher in die oben cylindrische Oeffnung des Dampfraums eingeschliffen ist (Fig. 50 *a*). Der Dampfraum *b* bildet den oberen Theil des Siederaums *d*. An der Grenze zwischen Dampf- und Siederaum ist ein horizontales offenes Röhrchen *c* eingesetzt, welches verhindert, dass zuviel Wasser in das Siedegefäss eingegossen wird, und beim Sieden selbst dem Dampf freien Abzug gestattet, damit ein Ueberhitzen desselben nicht stattfinden kann. Damit man die Temperaturangaben des Instruments bei der Berechnung richtig beurtheilen kann, muss der Ort der Verfertigung und der demselben zu Grunde gelegte Barometerstand auf der Skala angegeben sein.

Fig. 50.



Thermobarometer.

§ 32. Barometrische Höhenmessung.

Es kann sich im Nachstehenden nur darum handeln, das Verfahren bei Anstellung von Höhenmessungen mittelst des Barometers soweit zu erläutern, als für brauchbare Beobachtungen erforderlich ist, sowie die Mittel für eine gelegentliche Höhenbestimmung an die Hand zu geben. Es soll daher, ohne auf die theoretische Herleitung einzugehen, eine Formel für die barometrische Höhenmessung vorgeführt werden, aus welcher sich ergiebt, welche Beobachtungen erforderlich sind. Mit Benutzung einiger Hülfstafeln wird die Rechnung selbst eine sehr einfache. Die Berücksichtigung aller beeinflussenden Umstände und sorgfältigste Handhabung der Instrumente sowie Feststellung der Instrumentalfehler vor und nach der Höhenmessung sind auf den Werth der Resultate von entscheidendem Einfluss.

Die folgende Formel, welche sich neben vielen anderen von gleicher Genauigkeit für eine Anwendung besonders deshalb empfiehlt, weil keinerlei Instrumentenkorrektionen mit in dieselbe aufgenommen sind, ist aus dem Handbuch der Vermessungskunde von Jordan entnommen. Für ein ein-

gehenderes Studium dieses Kapitels wird auf dieses Werk selbst verwiesen. Die Formel lautet*)

$$h = 18400 \log \frac{P}{p} (1 + \varepsilon t) \left(1 + 0{,}377 \frac{e}{B}\right) (1 + \beta \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{2H}{r}\right).$$

Worin bezeichnet:

h die zu messende Höhe in Metern,

P und p den Luftdruck, an der unteren und oberen Station gleichzeitig beobachtet,

ε = den Ausdehnungskoëfficienten der Luft für 1° C = 0,003665,

e = den Dunstdruck,

B = den Luftdruck $\left(\frac{P+p}{2}\right)$,

t = die Temperatur,

φ = die Breite,

H = die Höhe,

(für e, B, t, φ, H:) Arithmetisches Mittel aus den Werthen an der oberen und unteren Station.

0,377 = $1 - d$, worin d = 0,623 die Dichte des Wasserdampfes ist, bezogen auf Luft von gleichem Druck und gleicher Temperatur,

r = Erdhalbmesser 6 370 000 m,

β = 0,002573, Koëfficient, welcher von der Abplattung der Erde abhängt.

Diese Formel ist so eingerichtet, dass nur der Luftdruck und nicht die Angaben eines besonderen Instruments einzusetzen sind.**)

Alle Korrektionen müssen auf die Instrumentenablesung vor Anwendung der Formel angewendet werden, und es ist dann gleichgültig, ob der Luftdruck vermittelst eines Quecksilberbarometers, eines Aneroidbarometers oder eines Thermobarometers bestimmt worden ist. Ausser der Bestimmung des Luftdrucks ist in erster Linie die Temperaturbestimmung, sodann die Beobachtung des Dunstdrucks mit Hülfe des Psychrometers von Wichtigkeit.

Die vier Klammerausdrücke werden aus den Tabellen IV a bis d am Schluss dieses Abschnitts entnommen, indem man die Argumente für dieselben dem Beobachtungsmaterial entnimmt, beziehungsweise den Werth $18400 \log \frac{P}{p}$ als erste Annäherung verwerthet.

Folgendes Beispiel wird den Gang einer auf normale Beobachtungen gestützten Rechnung zeigen:

Aus gleichzeitigen Beobachtungen zu Genf und am Hospiz auf dem St. Bernhard wurde bestimmt:

$P = 728{,}40$	$\varphi_1 = 46^\circ\ 12'$	$e_1 = 9{,}66$	$t_1 = 14.62$	h_1 ist 407 m über dem Meere.
$p = 567{,}70$	$\varphi_2 = 45^\circ\ 52'$	$e_2 = 4{,}71$	$t_2 = 3.82$	Die obere Höhe ist schätzungsweise zu 2200 bis 2400 m über dem Meere angenommen worden.
$B = 648{,}05$	$\varphi = 46^\circ\ 2'$	$e = 7{,}19$	$t = 9{,}22$	

*) Jordan, Handbuch der Vermessungskunde, Stuttgart 1877, Bd. I, Kap. XI.

**) Alle anderen Formeln setzen Beobachtungen am Quecksilber-Barometer voraus.

Mit Hülfe der Jordanschen Tafeln erhält man die Höhendifferenz beider Orte durch folgende Rechnung:

$P = 728{,}40$ log 2,86237
$p = 567{,}70$ log 2,75412
Differenz 0,10825 . . . . . log 9,03443
Konstante 18400 . . . . . log 4,26482
Tafel a log 0,01443 (Temperatur-Korrektion)
Tafel b log 0,00194 (Feuchtigkeits-Korrektion)
Tafel c log 9,99996 (Breiten-Korrektion)
Tafel d log 0,00015 (Höhen-Korrektion)
log 3,31573

Gesuchte Höhe 2068,8 m über der unteren Station.

Der Einfluss der verschiedenen Korrektionen wird aus einem Blick auf die betreffenden Tafeln leicht ersichtlich. Man erkennt, dass die Berücksichtigung der Temperatur allein eine sehr gute Annäherung gewährt. Erst bei Höhenmessungen in den Tropen, wo der Dunstdruck oft eine sehr grosse Höhe erreichen kann, ist auch die Feuchtigkeitskorrektion von beträchtlichem Einfluss auf das Resultat.

§ 33.

Sehr häufig wird das Beobachtungsmaterial nicht so vollständig sein. Zum grössten Theil werden nur die Daten der oberen Station vorliegen, häufig wird zur Anstellung von Feuchtigkeitsmessungen keine Gelegenheit gewesen sein.

In solchen Fällen kommen Interpolationsmethoden in Betracht, welche sich auf Erfahrungen stützen und in Bezug auf Wahl ihrer Grundlagen stets eine ausführliche Darlegung bei Mittheilung der darauf gegründeten Resultate nothwendig machen.

1. Die am häufigsten vorauszusetzende Lücke wird bestehen im Fehlen der Feuchtigkeitsmessung an der oberen Station. Man ist dann genöthigt, aus dem Gesetz der Abnahme der Feuchtigkeit mit der Höhe eine mittlere Dampfspannung aus den Beobachtungen an der unteren Station abzuleiten. Für diese Abnahme hat Hann das empirische Gesetz aufgestellt:

$$e_2 = e_1 10^{-\frac{h}{6517}}$$

(h in Metern, e in Millimetern). Dieses Gesetz entspricht nicht der Annahme einer selbstständigen Dampfatmosphäre, vielmehr erfolgt die Abnahme mit der Höhe in Wirklichkeit viel schneller als sie in einer Atmosphäre stattfinden würde, weil wegen der fortwährenden Dampfentwickelung an der Erdoberfläche sowie Fortführung und Kondensation der Dämpfe in den höheren kälteren Regionen kein Gleichgewichtszustand sich herstellen kann. Trotzdem lässt sich die Dampfspannung in einer beliebigen Höhe mittelst Beobachtungen, welche in anderer Höhe an-

gestellt sind, durch die erwähnte Formel mit grösserer Sicherheit wiedergeben, als man erwarten sollte.*)

Die nachstehende kleine Tafel ist nach der Formel $e_2 = e_1 \, 10^{-\frac{h}{6517}}$ berechnet:

Dampfspannung der oberen Station (e_2).

Dampfspannung der unteren Station e_1	Höhe der oberen Station über der unteren (h)								
	300	500	700	900	1200	1500	2000	2500	3000
5 mm	4,50	4,19	3,90	3,64	3,27	2,94	2,47	2.07	1.73
10 mm	8,98	8,38	7,81	7,28	6,55	5,89	4,93	4,13	3,47
15 mm	13,49	12,57	11,71	10,92	9,82	8,83	7,40	6,20	5,20
20 mm	17,99	16,76	15,62	14,55	13,09	11,77	9,87	8,27	6,93

Entnimmt man aus dieser Tafel für das oben gegebene Beispiel mit dem Argument $e_1 = 9{,}66$ die Dampfspannung für die obere Station, so erhält man $e_2 = 4{,}76$ und als Mittel für die Rechnung $e = 7{,}21$, so dass durch diese Lücke im Beobachtungsmaterial gar kein Fehler im Resultat entstanden wäre.

2. Die Bestimmung der mittleren Temperatur der Luftsäule, deren Höhe gemessen werden soll, aus den Beobachtungen setzt voraus, dass die Thermometer rationell aufgestellt (gegen Strahlung der Erde und der Sonne geschützt etc.) und sorgfältig beobachtet sind. Das Thermometer am Barometer ist dazu nicht ausreichend, schon deshalb nicht, weil die Aufstellung des Barometers nicht nach den Regeln, welche für die Thermometer gelten, gewählt wird. Es liegen aber für die Temperaturvertheilung auf der Erdoberfläche und neuerdings auch für die Aenderung derselben mit der Höhe so gründliche Zusammenstellungen vor, dass man die Beobachtungen einer Station im Nothfalle entbehren kann. Selbst beim gänzlichen Fehlen von Temperaturbeobachtungen wird man in den meisten Gegenden der Erde aus Isothermenkarten einen annähernden Werth entnehmen können, welcher als Temperatur im Niveau des Meeres der nachfolgenden Einschaltung zu Grunde gelegt werden darf.

Aus der Temperatur im Niveau des Meeres kann man die Temperatur in der Höhe ableiten, indem man die Erfahrungsresultate benutzt, welche in den Gebirgen über diesen Gegenstand gesammelt worden sind. Allerdings wünscht man die mittlere Temperatur der vertikalen Luftsäule zu wissen, nicht die Temperatur in der Nähe des Bodens. Indessen sind die

*) Zeitschr. für Meteorologie 1874. Seite 198.

auf Ballonfahrten angestellten Beobachtungen nicht hinreichend, ein unabhängiges Gesetz aufzustellen.

Es ist beobachtet worden*)

Abnahme der Temperatur mit der Höhe für je 100 m.

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Oktbr.	Novbr.	Dezbr.	Jahresmittel
Kaukasus	0,356	0,428	0,478	0,558	0,578	0,606	0,594	0,600	0,529	0,462	0,205	0,249	0,470
Ceylon	0,575	0,580	0,575	0,570	0,590	0,610	0,620	0,620	0,605	0,590	0,580	0,570	0,590
Schweiz	0,298	0,527	0,674	0,624	0,710	0,748	0,702	0,655	0,571	0,585	0,518	0,300	0,576

Beobachtungszeiten.

Die Temperatur der Luft, wie sie am Thermometer beobachtet wird, hat eine tägliche Periode, welche zumeist herrührt von der Wärmeabgabe des Erdbodens. Der Wärmezustand der freien Atmosphäre, welcher die Höhenmessung vermittelst des Barometers in erster Linie beeinflusst, ist aber nur in geringem Masse von dieser Strahlung abhängig. Um daher gute Resultate zu erzielen, ist es erforderlich, die Beobachtungen zum Zweck des Höhenmessung zu solchen Tagesstunden vorzunehmen, an welchen die Temperatur der Luft nahe übereinstimmt mit der mittleren Tagestemperatur. Am frühen Morgen (um Sonnenaufgang) und kurz nach dem Mittag finden die Extreme der täglichen Temperaturschwankung statt. Die Zeiten sind daher zu verwerfen. Die geeignetsten Zeitpunkte werden überall um die Mittelzeiten zwischen den Extremen eintreten, in Gegenden mit Kontinentalklima im Allgemeinen früher als dort, wo Seeklima anzunehmen ist. Ferner ist zu berücksichtigen die tägliche Periode der Barometerschwankung. Die sichersten Beobachtungen sind um die Zeit der Wendepunkte dieser Schwankung anzustellen. Die Wichtigkeit der Zeitangabe bei jeder Beobachtung folgt hieraus von selbst. Aus den Lehrbüchern der Meteorologie (z. B. Mohn, Grundzüge etc.) wird man Ausführlicheres über diese Gegenstände entnehmen können.

Beobachtungen bei Sturm, Nebel, Regen sind für barometrische Höhenmessung ungeeignet.

Sind nur Beobachtungen an einer Station anzustellen, so muss man auch den Barometerstand der unteren Station aus anderweitigem Beobachtungsmaterial herleiten. Dies geschieht mit Hülfe der Isobaren-Karten, welche für die ganze Erde den Luftdruck im Niveau des Meeres angeben, oder genauer noch aus der Zusammenstellung der Beobachtungen, welche an den nächsten Küstenpunkten regelmässig angestellt werden.

*) Kaukasus nach Wild, Ceylon nach Hann, Schweiz nach Hirsch. Vergl. H. Wild: „Die Temperatur-Verhältnisse des russischen Reichs" Seite 311.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Schwere-Korrektion auf meteorologische Beobachtungen in der Regel nicht angewendet wird und dass nur die neuesten Isobaren von Ferrel, Rykatschew unter Berücksichtigung dieser Korrektion entworfen sind. Hierzu ist also stets eine erläuternde Anmerkung erforderlich. Auf den so ermittelten Werth des Luftdrucks im Meeresniveau wendet man zur Reduktion auf die Beobachtungsstunden die jährliche und tägliche Periode an, welche in den Tropen sehr regelmässig verläuft und für die gemässigte Zone aus dem darüber vorhandenen Beobachtungsmaterial meteorologischer Stationen herzuleiten ist. Eine angenäherte Höhe aus dem beobachteten und für das Meeresniveau errechneten Luftdruck giebt dann die Mittel, auch die Temperatur zur weiteren Korrektion herzuleiten.*)

II. Thermometer.**)

§ 34.

Der Uebergang einer Materie aus dem festen in den flüssigen und aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand bei einer gewissen Spannung der Atmosphäre erfolgt stets bei bestimmten, einem jeden Körper eigenthümlichen Temperaturen. Dieser Umstand bietet ein Mittel dar, feste Punkte für Temperaturmessungen zu gewinnen.

Man ist übereingekommen, für alle Temperaturmessungen den Gefrierpunkt und den Siedepunkt des reinen Wassers bei 760 mm Druck der äusseren Luft als Fixpunkt der Temperaturmessung anzunehmen. Für die Messung der Aenderung der Temperatur aber von diesen Fixpunkten aus setzt man die Volumenänderung des reinen Quecksilbers im luftleeren Raum proportional der Temperaturänderung. Das Quecksilberthermometer ist somit die Grundform, alle auf der Ausdehnung anderer Materien beruhenden Thermometer sind in gewissem Sinne als empirische Instrumente anzusehen.***)

Das Quecksilberthermometer besteht aus einem Glasgefäss, von dem ein enges Glasrohr ausgeht, welches am Ende zugeschmolzen ist. Die Kugel und ein Theil des Rohrs enthalten eine Quecksilberfüllung, der übrige Theil der Röhre ist luftleer. An der Röhre befindet sich eine

*) Vergleiche auch über Anstellung von barometrischen Höhenbeobachtungen: Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Artikel Hydrographie. Für die Berechnung geringer Höhenunterschiede und Reduktion der Barometerstände auf den Meeresspiegel findet sich eine empfehlenswerthe Hülfstafel und Vorschrift in Mohns „Grundzüge der Meteorologie".

**) Ueber Tiefseethermometer vergl. Abschnitt III.

***) Von dem im strengsten Sinne als Normalinstrument zu bezeichnenden Luftthermometer ist hier abgesehen.

Skala, an welcher die Ausdehnung des Quecksilbers in der Röhre beobachtet werden kann. Diese Skala ist eingetheilt in Grade, welche aus Bestimmung der Fixpunkte — Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers — und Theilung des zwischenliegenden Raums in gleiche Theile erhalten worden sind. Dieser Raum wird

in 100 Grade getheilt bei der Celsiusskala,
in 80 bei der Réaumurskala,
in 180 bei der Fahrenheitskala.

Die drei Theilungseinheiten verhalten sich also wie 5 : 4 : 9 (wobei aber zu bemerken ist, dass die Bezifferung für die letztgenannte Skala nicht bei dem Gefrierpunkte, sondern bei einem Kältegrade, der 32 Skalentheile tiefer liegt, beginnt).

Bei der Anfertigung von genauen Thermometern kommt in Betracht, dass folgende Bedingungen möglichst erfüllt sind:

1. Der innere Röhrenraum muss seiner ganzen Länge nach vollkommen parallele Wandungen haben, worauf die Röhre vorher geprüft (kalibrirt) werden muss.

2. Dass Gefäss muss vollkommen luftleer sein und zu diesem Zweck beim Füllen das Quecksilber ausgekocht und bis auf den höchsten Stand, der in der Röhre erreichbar ist, beim Zuschmelzen erwärmt werden.

3. Gefrierpunkt und Siedepunkt müssen absolut und unter Anwendung der nöthigen Vorsichtsmassregeln bestimmt werden (nicht gleich nach der Anfertigung).

4. Die Theilung der Skala muss genau gleichmässig ausgeführt sein.

Thermometer, bei welchen die vorstehenden Bedingungen erfüllt sind, bezeichnet man als Normalthermometer. Auf die Einzelnheiten der Anfertigung der Thermometer soll hier nicht weiter zurückgegangen und nur das, was bei Prüfung von Thermometern in Frage kommt, bei den einzelnen Konstruktionen berücksichtigt werden.

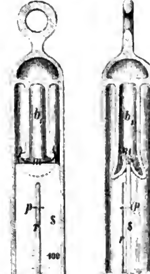
Die Feststellung und Prüfung der Fixpunkte in absoluter Weise und die Kalibrirung der Thermometerröhren sind umständliche, vielen Fehlerquellen ausgesetzte Manipulationen, welche in Specialwerken eingehend erörtert und in den leicht zugänglichen Lehrbüchern der Physik allgemein dargestellt werden. Soweit es sich nicht um Instrumente für specielle Zwecke handelt, wird daher im Folgenden auf Thermometeruntersuchungen nicht ausführlich eingegangen werden.

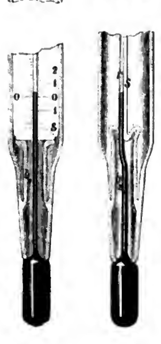
Die Prüfung der gewöhnlichen Thermometer beschränkt sich in der Regel auf den Vergleich mit einem Normalthermometer. Die Vergleiche werden in Wasser vorgenommen, welchem man leicht verschiedene Temperaturen geben kann. Man muss dabei beachten, dass die Kugeln der zu vergleichenden Thermometer sich in gleicher Höhe und nicht in der Nähe der Wände des Wassergefässes befinden. Indem man die beiden Thermometer in einem Halter hin- und herbewegt, vermeidet man die Unter-

schiede, welche durch ungleichmässige Erwärmung der Wasserschichten hervorgerufen sein können. Behufs gleichmässiger Erwärmung des Wassers bedient man sich auch doppelter, mit schlechten Wärmeleitern als Wände versehener Gefässe.

Die Thermometer sind namentlich in dem ersten Jahre nach ihrer Anfertigung Aenderungen unterworfen, welche von Ausgleichungen in der Struktur des Glases herrühren und deren Folge eine Kontraktion der Glaskugel ist (Dilatationsnachwirkungen). Dadurch tritt eine Verschiebung des Nullpunktes nach oben ein, so dass unter Voraussetzung korrekter Kalibrirung nur eine konstante (negative) Korrektion öfter neu bestimmt werden muss. Diese Verschiebung kann einen halben Grad und mehr erreichen.

Fig. 51.





§ 35. Befestigung der Skalen.

Eine andere Ursache der Veränderlichkeit ist gröberer Natur und rührt her von der Verschiebbarkeit der Skala des Thermometers gegen die Röhre. Die Skala ist neben dem Kapillarrohr befestigt an dem Einschlussrohr, welches auf der Quecksilberkugel angeschmolzen ist. Die Befestigung geschieht bei Milchglasskalen mittelst eines Lacks am unteren Ende, während oben Korkstücke eingeklemmt sind, weil wegen der verschiedenen Ausdehnung der Glassorten eine innigere Verbindung nicht statthaft ist. Wenn sich mit der Zeit durch Feuchtigkeit und öftere starke Erwärmung die Skala löst, so schlottert dieselbe im Einschlussrohr, das Thermometer wird sehr zerbrechlich und obendrein ungenau. Neuerdings ist dieser Uebelstand durch die Konstruktion von Fuess auch bei den in der Marine gebrauchten feineren Thermometern in folgender Weise beseitigt (Fig. 51).

In dem Einschlussrohr befindet sich unten ein oben offener Glasbecher b_2, dessen Ränder in der Ebene der Skala zu einem Lager zusammengedrückt sind, in welchem das Milchglas aufruht. Oben ist ebensolcher Becher b_1, welcher das obere Ende der Skala umfasst und als Lager eine federnde Lamelle m enthält, welche die Skala nach unten in das feste Lager a niederdrückt. Zur Führung des Kapillarrohrs sind feine Platinschlingen p durch Bohrungen

der Skala an mehreren Stellen angebracht, durch welche hindurch sich das Kapillarrohr *r* frei ausdehnen kann.

Bei Thermometern, welche nicht in ein Rohr eingeschlossen sind, sondern mit Drahtschlingen an der Skala befestigt werden, wie z. B. bei den Miller-Casellaschen Tiefseethermometern, ist ein Schlottern der Röhre unvermeidlich, da ein Spielraum für Ausdehnung des Glases stets gelassen werden muss. Man findet solche Thermometer, welche sich über 1° F. verschieben lassen. Durch sorgfältige Arbeit ist die hierdurch entstehende Ungenauigkeit wesentlich vermindert worden.

Thermometer mit Papierskalen werden zu feinen Zwecken nicht verwendet, da die Veränderlichkeit und Vergänglichkeit des Papiers grosse Genauigkeit nicht zulässt. Eine Verschiebung der Skalen kommt hier häufig vor, worauf bei solchen, ihrer Billigkeit wegen immerhin sehr verbreiteten Thermometern besonders zu achten ist.

§ 36. Schleuderthermometer.

Unter den Instrumenten, welche von der Londoner Konferenz zu Versuchsbeobachtungen an Bord der Schiffe empfohlen werden, befinden sich auch die sogenannten Schleuderthermometer (thermomètre fronde). Diese Thermometer, welche sich in Frankreich grosser Beliebtheit erfreuen, sind kleine Stabthermometer, d. h. auf der sehr dickwandigen Kapillarröhre getheilt, an welcher oben ein Ring angeschmolzen ist zur Aufnahme einer Schnur. Mittelst dieser etwa ½ bis ⅔ m langen Schnur wird das Thermometer mit der Hand schnell im Kreise herumgeschleudert. Dadurch wird erreicht — wenngleich nicht so vollständig, als man ursprünglich erwartet hat*) —, dass das Thermometer mit vielen Lufttheilchen in Berührung gebracht wird und die Nachtheile ungünstiger Aufstellungsorte — Bestrahlung, stagnirende Luftschichten — vermieden werden. Die mit diesen Schleuderthermometern gemachten Erfahrungen haben zum Theil günstige Resultate ergeben, von manchen Meteorologen sind sie indessen als unzuverlässig verworfen. Bei der Schwierigkeit einer guten Thermometeraufstellung, namentlich an Bord, werden es aber immer nützliche Instrumente bleiben.

§ 37. Maximum- und Minimumthermometer.

Der höchste und niedrigste Stand der Temperatur ist ein sehr werthvolles Element für die Meteorologie, welches sich durch Beobachtung

*) Man hat z. B. am Observatorium zu Sidney am Schleuderthermometer in der Sonne eine um 2° C. höhere Temperatur beobachtet als im Schatten, während man im Allgemeinen annimmt, dass bei diesen Thermometern Beobachtungen in der Sonne und im Schatten die gleichen Resultate ergeben.

zu bestimmten Stunden nicht feststellen lässt. Abgesehen von selbstregistrirenden Thermographen, auf welche hier als zu fern liegend nicht eingegangen werden kann, bedient man sich zur Bestimmung der Temperaturextreme der Maximum- und Minimumthermometer. Solche Instrumente sind nach verschiedenen Principien konstruirt. Das bekannteste und verbreitetste Minimumthermometer ist das von Rutherford. Es besteht in einem Weingeistthermometer, welches in horizontaler Lage exponirt wird. In der Thermometerröhre befindet sich vom Weingeist umgeben ein kleines Glasstäbchen. Dehnt sich der Weingeist bei steigender Temperatur aus, so fliesst er an dem Stäbchen vorbei, ohne dessen Lage zu ändern. Zieht sich die Flüssigkeit aber bei abnehmender Temperatur so stark zusammen, dass das den Weingeistfaden begrenzende Flüssigkeitshäutchen an das äussere Ende des Glasindex heranrückt, so reicht die Kohäsionskraft der Flüssigkeit hin, das Stäbchen mit sich zurückzuziehen. Die Lage des Stäbchens zeigt also immer den tiefsten Stand an, welchen das Weingeistthermometer innegehabt hat.

Will man das Instrument von Neuem einstellen, so giebt man ihm eine leichte Neigung mit der Kugel nach oben. Das Glasstäbchen gleitet dann bis zum Ende des Flüssigkeitsfadens, von dessen Grenzfläche es zurückgehalten wird.

Man vereinigt mit diesem horizontalen Weingeistthermometer auf derselben Porzellanplatte ein ebenfalls horizontales Quecksilberthermometer, welches als Maximumthermometer wirkt, indem der Quecksilberfaden ein Stahlstäbchen vor sich her schiebt. Durch Neigen dieses Thermometers mit der Kugel abwärts wird der Stahlstift vermöge seiner Schwere zu dem zurückgewichenen Quecksilberfaden hingeführt. Weingeist- und Quecksilberkugel müssen also an entgegengesetzten Enden angebracht sein, wenn man durch eine Neigung in gleichem Sinne beide Thermometer einstellen will.

Abgesehen von der Zerbrechlichkeit dieses Instruments und der den Weingeistthermometern innewohnenden Trägheit, hat das Rutherfordsche Maximum- und Minimumthermometer den grossen Nachtheil, dass es fast unmöglich ist, dasselbe zu versenden. Wenn der Weingeist nicht absolut luftfrei ist, so theilt er sich, und die Luftblasen hindern eine Wiedervereinigung. Der Index im Weingeist bewegt sich sehr leicht und fällt in die Kugel hinab, ebenso taucht der Stahlstift bei Erschütterungen in das Quecksilber ein und wird von diesem festgehalten.*)

*) Um ein in Unordnung gerathenes Instrument dieser Art wieder gebrauchsfähig zu machen, giebt Jelinik folgende Vorschrift (Anleitung zur Anstellung meteorologischer Beobachtungen, 2. Auflage):

„Um den Alkohol wieder zu vereinigen, hat man das Thermometer, wenn es an einer Platte befestigt ist, von dieser abzuschrauben und dem vertikal in aufrechter Lage gehaltenen Thermometer (Kugel nach unten) einige leichte Stösse auf die Art beizubringen, dass man mit der rechten Hand, welche das Thermometer

§ 38. Thermometer zur Bestimmung der Intensität der Sonnen- und nächtlichen Strahlung.

Die Maximum- und Minimumthermometer werden in etwas veränderter Form zur Bestimmung der Strahlung verwendet.

Das Vakuumthermometer mit geschwärzter Kugel ist ein solches Maximumthermometer (Insolationsthermometer). Dasselbe ist in ein Glasrohr eingeschlossen, welches um die Kugel zu einem Ballon erweitert ist. Der ganze Raum ist mittelst der Luftpumpe möglichst luftleer gemacht und dann zugeschmolzen. Das Instrument wird (womöglich über einer Rasendecke) auf Stützen 1 bis 1½ m hoch horizontal exponirt. Das eingeschlossene Thermometer, dessen Kugel und unterer Röhrentheil geschwärzt ist, empfängt seine Wärme durch die direkten Sonnenstrahlen und strahlt seinerseits gegen die Glashülle Wärme aus. Der Ueberschuss der Sonnenstrahlung gegen die Ausstrahlung wird zur Ausdehnung des im Thermometer befindlichen Quecksilbers benutzt. Unter der Voraussetzung, 1. dass die äussere Glashülle die Temperatur der umgebenden Luft hat und 2. dass das Vakuum ein vollständiges ist, erhält man durch den Vergleich eines in gewöhnlicher Weise exponirten Maximumthermometers mit dem geschwärzten im Vakuum ein Mass des Maximums der Sonnenstrahlung während der Expositionsperiode. Da die Voraussetzungen nie vollständig erfüllt sind, so giebt das Instrument nur angenäherte Resultate, welche namentlich von der mehr oder weniger erreichten Luftleere der Umhüllung abhängig sind.

Die Exposition des Thermometers über einer Rasenfläche ist deshalb am günstigsten, weil von dieser nicht so leicht Wärmeausstrahlung zu besorgen ist, wenn sie den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt ist. Aus

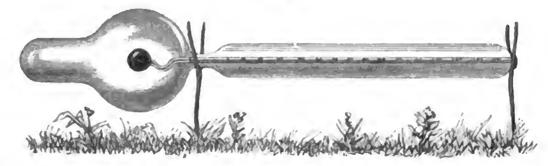
hält, so gegen die linke schlägt, dass das Thermometer unberührt bleibt und sich demselben die Erschütterung bloss mittelbar mittheilt. Nach einigen solchen Stössen wird sich der Alkohol vereinigt haben.

„Um den Stahlstift aus dem Quecksilber zu bringen, wird die Stelle der Röhre, an welcher der Stift sitzt, so weit erhitzt, bis derselbe frei wird. Es kann dieses Erhitzen über einer Spiritus- oder Gasflamme geschehen, nur ist darauf zu achten, dass die Glasröhre gleichmässig erwärmt werde, dieselbe muss aus diesem Grunde immerwährend gedreht werden. Ist der Stift frei vom Quecksilber, so wird er so weit als möglich gegen die Erweiterung geschüttelt und sodann die Kugel erhitzt, bis das Quecksilber den Stift wieder erreicht. Nun wird wieder wie anfangs die Röhre an der Stelle, wo nun der Stift steckt, erhitzt, vorgeschüttelt, die Kugel erhitzt und dieses Verfahren so oft wiederholt, bis der Stift mit dem über demselben befindlichen Quecksilber die Erweiterung am Ende der Röhre erreicht.

„Die Kugel wird nun so weit erhitzt, dass ein kleiner Tropfen die Erweiterung erreicht, sodann das Thermometer mit der Kugel nach unten aufgestellt und durch schwaches Schütteln das Quecksilber vereinigt. Das Erhitzen über freier Flamme hat keine Gefahr, so lange die Erweiterung nicht über ein Drittheil mit Quecksilber gefüllt ist.“

demselben Grunde wird man auch für die Beobachtung der Kälteausstrahlung der Erde das Minimumthermometer (Radiationsthermometer), von derselben Form wie das Insolationsthermometer aber mit nicht geschwärzter Kugel, über einer Rasenfläche exponiren, horizontal auf Stützen 5 cm über dem Boden (Fig. 52) (eine höhere Lage würde von der Seite

Fig. 52.



zuströmende warme Luft befürchten lassen). Die Angaben dieses Minimumthermometers werden mit einem gegen Ausstrahlung geschützten (im Thermometergehäuse untergebrachten) verglichen.*)

In Betreff der auch für gewisse Zwecke am Lande verwendeten Maximum- und Minimumthermometer nach dem System von Six wird Ausführliches im III. Abschnitt gegeben werden.

Das in neuerer Zeit am meisten verwendete Maximum- und Minimumthermometer ist ein Metallthermometer, wie solches im folgenden Paragraphen beschrieben werden wird.

§ 39. Metallthermometer.

Die verschiedene Ausdehnung der Metalle wird benutzt, um gegen Temperaturänderungen sehr empfindliche Federn herzustellen, deren Ausdehnung und Zusammenziehung, durch ein Hebelsystem auf einen Zeiger übertragen, zur Messung der Temperatur dient.

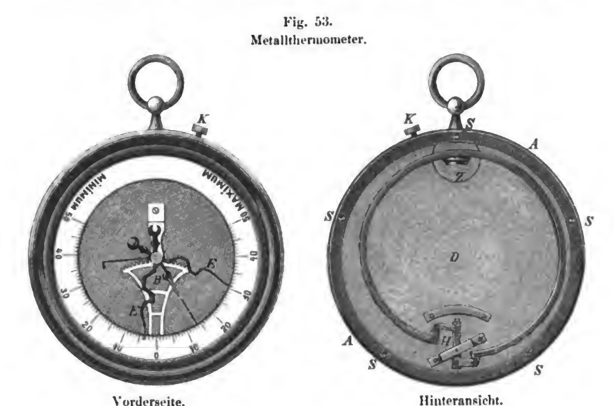
Ein solches Metallthermometer ist das im Folgenden beschriebene Maximum- und Minimumthermometer in Dosenform, von Herrmann und Pfister in Bern.

Eine Lamelle, aus Kupfer innen und Stahl aussen zusammengesetzt, von der Form eines aufgeschnittenen Ringes, ist in der Mitte an einem messingenen Zapfen festgeschraubt. Bei zunehmender Temperatur entfernen sich beide Enden von einander, bei abnehmender Temperatur nähern sie sich einander. Diese Bewegung wird auf einen gleicharmigen Hebel *H* übertragen (Fig. 53).

*) Vergl. über diese Beobachtungen auch: „Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen“, Artikel Meteorologie von Hann.

Wenn sich der Hebel um seine Axe dreht, bewegt sich zugleich mit ihm auf derselben Axe ein gezahnter Sektor, welcher in ein Zahnrad ein-

Fig. 53.
Metallthermometer.



Vorderseite. Hinteransicht.

greift. Dieses Zahnrad ist centrisch zum Instrument angebracht und mit einem Zeiger *a* fest verbunden, welcher auf der Vorderseite der Dose die Temperatur anzeigt.

Um das Thermometer als Maximum- und Minimumthermometer zu verwenden, sind zwei Extremzeiger *E* vorhanden, welche sich mit geringer Reibung verschieben lassen und unabhängig von dem koncentrischen Zahnrade dieselbe Drehaxe haben, wie der mit dem Zahnrade fest verbundene Temperaturzeiger. Dieser letztere trägt einen Stift, welcher einen der Extremzeiger vor sich her schiebt, je nachdem er sich nach der einen oder der andern Seite bewegt. Eine kleine Kurbel *B*, welche vermittelst eines gereifelten Knopfes auf der vorderen Glasplatte des Instruments drehbar ist, lässt die Extremzeiger nach erfolgter Ablesung wieder an den Temperaturzeiger heranführen und damit das Instrument für eine neue Beobachtungsperiode einstellen. Die Kurbel *d* muss dann wieder in die aus der Figur ersichtliche Stellung zurückgedreht werden, um die Bewegung der Zeiger nicht zu hindern.

Seitlich an dem Instrument befindet sich ein Knopf *K*, welcher gestattet, die Skala koncentrisch zu verschieben. Diese Verschiebung schafft die konstante Korrektion fort, welche durch Vergleichung mit einem Normalthermometer ermittelt worden ist.

Ueber den Gebrauch dieses Instruments ist noch Folgendes zu bemerken:

Damit die Temperatur ungehindert auf die Lamelle einwirke, ist es erforderlich, dass dieselbe offen exponirt wird. Das Instrument darf daher nicht in einem Kasten eingeschlossen sein. Eine Kontrole der Angaben wird dadurch geschaffen, dass man ein Quecksilberthermometer gleichzeitig mit dem Temperaturzeiger beobachtet. Ohne solche Kontrole sind die Angaben des Instruments natürlich von sehr zweifelhaftem Werth. Es kann eintreten, dass die Extremzeiger sich mit zuviel Reibung bewegen und infolge dessen die Extreme der Temperatur nach beiden Seiten zu niedrig angegeben werden. Dies erkennt man daran, dass bei sanftem Klopfen auf das Deckelglas der Zeiger sprungweise von dem durch den Widerstand zurückgehaltenen Temperaturzeiger fortgeschoben wird.

Eine Reinigung des Instruments darf nur mit einem Haarpinsel ausgeführt werden. Feuchtigkeit und selbstverständlich auch jede fettige Substanz muss durchaus fern gehalten werden. —

Bei den Metallbarometern neuerer Konstruktion befindet sich das Werk in einer flachen, an den Seiten durchlöcherten Messingdose. Zur Regulirung der Bewegung der Zeigeraxe ist eine Spiralfeder angebracht.

III. Die Instrumente zur Bestimmung der Feuchtigkeit der Luft.

§ 40. Dampfspannung und relative Feuchtigkeit.

Die Atmosphäre ist immer mit Wasserdampf vermischt, welcher sich bei jeder Temperatur aus Wasser zu entwickeln vermag und sich in der Luft verbreitet. Der Wasserdampf in der Luft folgt den Fundamentalgesetzen, welche für das Verhalten permanenter Gase gelten,*) bei den in Betracht kommenden Temperaturen sehr nahe.

Jeder konstanten Temperatur entspricht eine Maximalspannung des Wasserdampfes; ist diese Spannung erreicht, so hört die Verdunstung auf, der Raum ist von Wasserdampf gesättigt. Ist der Raum nicht begrenzt, so wird durch Diffusion oder Bewegung der Luft allmälig ein Theil des Wasserdampfes fortgeführt, und die Verdampfung fährt fort. Erhöht sich

*) Bei konstanter Spannung ändert sich sein Volumen proportional der Temperatur (Gay-Lussacsches Gesetz).

2. Bei konstanter Temperatur ist sein Volumen der Spannung umgekehrt proportional (Mariottesches Gesetz).

3. Seine Spannung ist bei gleicher Temperatur sehr nahe dieselbe in der Luft wie im Vakuum (Daltonsches Gesetz).

die Temperatur des gesättigten Raumes, so findet weitere Verdunstung bis zu dem entsprechenden Sättigungsgrade statt; fällt die Temperatur, so wird der überschüssige Dampf zu Wasser niedergeschlagen. Auf diese Weise wird, vornehmlich durch die Bewegung der Luft und durch die Schwankungen der Temperatur, ein fortwährender Wechsel in dem Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre unterhalten, welcher für die Erklärung der Witterungserscheinungen von hervorragender Wichtigkeit ist, dessen genaue Feststellung daher mit zu den regelmässigen meteorologischen Beobachtungen gehört.

Unter den verschiedenen hierher gehörigen Methoden sind zwei wegen ihrer Einfachheit in allgemeinen Gebrauch gekommen und daher zunächst zu beschreiben, nämlich die des Augustschen Psychrometers und die des Saussureschen Haarhygrometers.

Das Princip des Psychrometers beruht im Wesentlichen auf folgender Betrachtung:

Wenn man ein Thermometer, welches in noch nicht völlig mit Wasserdampf gesättigter Luft aufgehängt ist, benetzt, so zeigt es einen niedrigeren Stand an, als das trockene Thermometer, weil die Benetzung sich in Dampf verwandelt und zu dieser Dampfbildung ein Theil der dem Thermometer innewohnenden Wärme verbraucht wird. Je mehr die Temperatur fällt, desto mehr Wärme wird von der äusseren Luft infolge der Temperaturdifferenz zugeführt, und wenn diese Wärmezufuhr gerade hinreicht, um die Arbeit der Verdunstung zu leisten, bleibt die Quecksilbersäule des Thermometers auf einem konstanten Stand stehen. Die konstante Wärmezufuhr ist proportional der Differenz der Temperaturen, also hier der eines trockenen Thermometers t und eines feuchten Thermometers t'. Die verbrauchte Wärmemenge $a\,(t-t')$ ist aber ein Mass der geleisteten Verdunstungsarbeit, welche darin bestand, Dampf von der zu bestimmenden Spannung s auf die bekannte Sättigungsspannung s' der Temperatur des feuchten Thermometers t' zu vermehren. Diese Arbeitsleistung ist umgekehrt proportional dem Luftdruck B, also ist $s'-s=\frac{A}{B}(t-t')$, worin A das Produkt aus a und dem konstanten Koëfficienten von $\frac{1}{B}$ ist. Man erhält also die Dampfspannung der Luft s durch den Ausdruck

$$s=s'-\frac{A}{B}(t-t')$$

für welchen man B, t, t' durch Beobachtung findet und s' aus den anderweitig festgestellten Maximal-Spannungstabellen kennt, während A die Konstante des Instruments ist, welche von August nach Rechnung, von Regnault nach Versuchen etwas abweichend gefunden ist.

Wenn man die Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes als absolute Feuchtigkeit bezeichnet, so versteht man unter relativer

Feuchtigkeit das Verhältniss dieser Dampfmenge zu derjenigen, welche die Luft in gesättigtem Zustande enthalten würde. Diese relative Feuchtigkeit wird in Procenten ausgedrückt. Diejenige Temperatur, bei welcher die derzeitige Feuchtigkeit der Luft den Sättigungsgrad darstellen würde, ist der Thaupunkt. Derselbe lässt sich also aus dem Vorhergehenden leicht bestimmen, ist aber nicht übereinstimmend mit dem beobachteten t, ausgenommen wenn die Luft mit Wasserdampf gesättigt, also $t = t'$ ist und die relative Feuchtigkeit 100 beträgt. Aus der den Grundzügen der Meteorologie von H. Mohn entnommenen Tabelle V am Schluss dieses Abschnitts lassen sich diese Daten alle sofort entnehmen.

§ 41. Das Psychrometer.

Die Einrichtung des Psychrometers ist hiernach folgende:

Zwei gleichartige Thermometer, welche die Temperatur auf $\frac{1}{5}$ Grad zu bestimmen gestatten, sind in mindestens 1 dm Abstand nebeneinander aufgehängt. Die Kugel des einen ist mit einem dünnen Stoff überzogen. Ueber diesen Ueberzug giebt Mohn folgende ausführliche Vorschrift:

„Der Ueberzug der Kugel (Fig. 54) des feuchten Thermometers darf nicht zu dick sein. Am besten wählt man einen durchsichtigen, aber feinmaschigen Stoff wie Musselin zu diesem Zweck. Leinwand ist zu dick. Der Ueberzug muss ferner, ehe man ihn aufsetzt, gut ausgewaschen werden und darf mit Ausnahme der Zipfel nicht doppelt auf der Kugel aufliegen. Um ihn einigermassen stramm anliegend zu machen, befeuchtet man denselben, ehe man ihn an die Kugel bringt und schnürt ihn oberhalb und unterhalb derselben mit einem Faden fest. Nach oben hin kann er sich eher ein wenig über die Kugel hinaus erstrecken, nur muss er dann an seinem Oberende nochmals mit einem Faden am Rohr befestigt werden. Unterhalb der Kugel wird er dagegen ganz kurz abgeschnitten. Sobald das Zeug schmutzig oder hart geworden ist und das Wasser nicht mehr willig auffängt, oder wenn dasselbe zerreisst und die Kugel nicht mehr ganz bedeckt, muss der Ueberzug erneuert werden. Das Wasser, welches man zum Benetzen des Thermometers braucht, muss rein und weich, nicht hart, d. h. nicht kalkhaltig sein. An Orten, welche nur hartes Trinkwasser haben, muss man das Regenwasser zu diesem Zweck aufbewahren, und im Winter sich geschmolzenen Schnees bedienen."

Fig. 54.



Man befeuchtet das Thermometer auf verschiedene Weise. Am einfachsten geschieht dies durch Anbringung eines Dochtes oben an der feuchten Kugel, welcher in ein Wassergefäss mit engem Hals unterhalb derselben geleitet ist, so dass die Feuchtigkeit in dem Docht zur Kugel fortwährend emporsteigt. Das Instrument ist dann immer zur Ablesung

fertig. Fällt die Temperatur bis in die Nähe des Gefrierpunktes, so ist diese Art der Befeuchtung nicht mehr angängig. Man muss dann die Thermometerkugel in ein kleines Wassergefäss eintauchen lassen, dann das Gefäss entfernen und abwarten, bis die Temperatur ihren niedrigsten Stand erreicht hat. Wenn sich, bis dies eintritt, noch Eis auf dem Bezuge der Kugel bilden muss, so dauert diese Procedur eine halbe Stunde, oft noch länger. So lange das feuchte Thermometer mit einer ganz dünnen Eisschicht bedeckt bleibt, ist es stets zur Ablesung fertig. Bei Temperaturen unter — 15° kann man nicht mehr auf zuverlässige Angaben rechnen. Niemals kann das feuchte Thermometer eine höhere Temperatur anzeigen als das trockene. Wird dennoch ein solcher höherer Thermometerstand beobachtet, so giebt er die Temperatur des zum Benetzen benutzten Wassers an, nicht die der Verdunstung, die Beobachtung ist also verfehlt.

Für die Aufstellung des Psychrometers bedient man sich eines Jalousienkastens, welcher die Thermometer vor Sonnenstrahlen und Regen schützt, aber die Luft frei hindurch streichen lässt. Gegen die Erhitzung durch direkte Sonnenstrahlen ist derselbe noch mit einem drehbaren weiss lackirten Blechschirm versehen. Die Masse des zur Zeit an Bord gebräuchlichen Psychrometerkastens sind folgende:

Höhe 335 mm im Innern gemessen,
Breite 170 mm „ „ „
Tiefe 67 mm „ „ „

Die 5 mm dicken Jalousienbrettchen sind 15 mm auseinandergestellt.

Die Thermometer selbst sind 225 mm lang mit Skalen von 0,2° Theilung auf Porzellan versehen (Fig. 51). Dieselben sind im Jalousienkasten in Lagerklötzen eingeklemmt, welche durch eine Druckschraube zusammengehalten werden.

Der Jalousienkasten ist in einer drehbaren, einen halben Cylinder von 330 mm Durchmesser darstellenden Blechbeschirmung mit Dach und verdecktem Schornstein befestigt, welche mittelst eines über der Mitte des Schornsteins angebrachten Hakens aufgehängt werden kann.

Es ist erforderlich, dass der Aufhängungsort für diesen Kasten passend gewählt wird, damit nicht die Temperatur des Schiffes, sondern die der äusseren Luft zur Beobachtung gelangt, und dass dieser Ort dauernd beibehalten wird, da streng genommen für jede Lokalität eine andere Konstante für die Resultate sich ergeben muss. Die Ablesung des trocknen Thermometers gilt zugleich für die Temperaturbeobachtungen der Luft, für welche es also der Benutzung eines dritten Thermometers nicht bedarf.

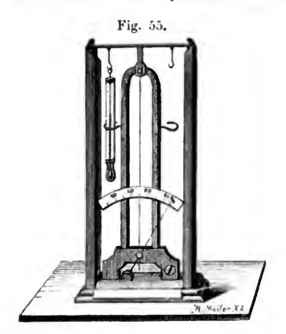
Die Differenz des trockenen und des feuchten Thermometers übersteigt in unserem Klima an Land selten sechs bis sieben, auf See in der Regel nicht vier Grad.

§ 42. Das Haarhygrometer.

Das Psychrometer ist bei niedrigen Temperaturen ein schwierig zu beobachtendes Instrument, dessen Beobachtungen, namentlich wenn die Temperatur um den Gefrierpunkt schwankt, keine zuverlässigen Resultate erwarten lässt. Nach Beobachtungen an der Züricher Sternwarte für die Dauer eines Jahres betrug der mittlere Fehler der Psychrometerangaben im Sommer und bei Temperaturen über Null 3 %, aber im Winter nahezu 16 % und erreichte im März mehr als 25 %, weil die Temperatur in diesem Monat häufig um den Nullpunkt schwankt. Man hat aus diesem Grunde vielfach auf das ältere Saussuresche Haarhygrometer zurückgegriffen. Dasselbe benutzt die hygroskopischen Eigenschaften des menschlichen Haares, um durch die Ausdehnung und Zusammenziehung desselben an einer empirisch hergestellten (nicht in gleiche Theile getheilten) Skala die relative Feuchtigkeit abzulesen. Der grösste Uebelstand des Haarhygrometers besteht in seiner Veränderlichkeit des Sättigungspunktes. Diesen Uebelstand sucht Koppe in Zürich durch eine Justirvorrichtung zu beseitigen, mit welcher versehen ein solches Instrument (Fig. 55) von ihm wie folgt beschrieben wird:*)

„Das mit Aether gut gereinigte und durch häufiges und wechselweises Einführen aus dem Trocknen ins Feuchte gut präparirte Haar ist in einem Rahmen von 22 bis 25 cm Länge eingezogen. Es wird gespannt durch eine kleine Spiralfeder aus hartem Neusilberdraht, deren Kraft durch Einhängen eines Gewichtchens von 0,5 Gramm in das Oehr, in welchem der Faden befestigt ist, leicht genau auf diesen Betrag regulirt werden kann. Man dreht zu diesem Zwecke das Hygrometer um, hängt das Gewichtchen vorn an die Feder und zieht diese durch Drehen mit einem Schraubenzieher an oder lässt sie nach, bis sie gerade 0,5 Gramm trägt. Nimmt man dann das Gewichtchen wieder fort, so zieht die Feder offenbar mit derselben Kraft, mit welcher sie gespannt wurde, das Haar gerade. Für den Gebrauch und das Hin- und Hertragen des Instruments in justirtem Zustande ist diese Einrichtung viel bequemer, als ein beständig angehängtes Gewichtchen, welches bei

Fig. 55.



*) Die Messung des Feuchtigkeitsgehalts der Luft mit besonderer Berücksichtigung des Procenthygrometers mit Justirvorrichtung von Dr. Karl Koppe. Zürich 1878.

jeder Bewegung hin und her schwankt, wobei der Zeiger leicht verstellt werden kann; sie bietet den weiteren Vortheil, dass man die Kraft, mit welcher das Haar gespannt ist, nach Gutdünken reguliren kann. Die Probe mit dem Gewichtchen braucht man natürlich nur hin und wieder vorzunehmen, wenn man Grund hat zu glauben, dass sich die Spannung der Feder geändert hat.

„Die Axe des Instruments besteht aus hartem Neusilber, um Rost zu vermeiden und die Reibung möglichst gering zu machen. Das ganze Hygrometer ist in ein Blechkästchen gestellt, welches vorn durch eine Glasscheibe und hinten durch einen Schieber geschlossen werden kann; vor letzterem ist ein mit dünnem Zeuge überspanntes Rähmchen in eine Nuth eingeschoben.

„Soll das Instrument zur Beobachtung benutzt werden, so wird das auf das Rähmchen aufgezogene Gewebe in Wasser getränkt und eingeschoben. Das Kästchen füllt sich dann in kurzer Zeit vollständig mit Feuchtigkeit, weil die verdunstende Oberfläche verhältnissmässig sehr gross ist, und da sich das Haar seiner ganzen Länge nach in unmittelbarer Nähe des nassen Gewebes befindet, so wird sich dasselbe rasch mit Feuchtigkeit sättigen und der Zeiger bis zu einem Punkte vorrücken, welcher dieser vollständigen Sättigung entspricht, und dort stehen bleiben. Dieser Punkt sollte der Theilstrich für 100 Procent sein; infolge der Veränderungen des Instruments beim Transport etc. wird der Zeiger in vielen Fällen sich nicht auf 100 einstellen. Man hat dann nur einen Uhrschlüssel durch das oben in der Glasscheibe befindliche Loch auf die Axe aufzusetzen, in welcher das obere Ende des Haares befestigt ist, und durch Drehen den Zeiger auf 100 zu führen.

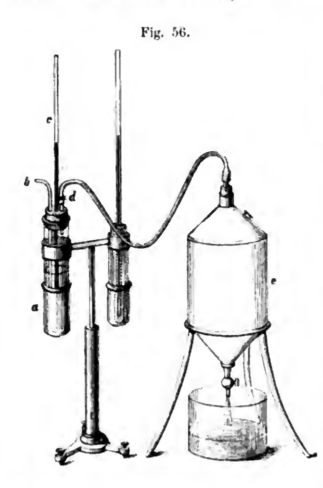
„Um die Reibung der Axe leichter zu überwinden, ist es gut, etwas auf den Fuss des Hygrometers zu klopfen und von Neuem einzustellen, wenn durch das Klopfen eine kleine Verstellung des Zeigers hervorgebracht wird. Dann ist das Instrument justirt und wird, nachdem man Schieber, Gewebe und Glas fortgenommen, einige Minuten später den Feuchtigkeitsgrad des zu prüfenden Raumes richtig anzeigen. Das etwa abgetropfte Wasser lässt sich leicht beseitigen und kann dieser Art der Justirung ebensowenig zum Vorwurf gemacht werden, wie das zur Untersuchung des Nullpunkts eines Thermometers erforderliche Eis dieser letztern. Beide Methoden der Prüfung haben in mancher Beziehung Aehnlichkeit mit einander."

§ 43. Das Regnaultsche Hygrometer.

Unter den von der maritimen meteorologischen Konferenz zu London 1874 als wünschenswerth aufgezählten Versuchen sind Beobachtungen mit dem Regnaultschen Hygrometer genannt, weshalb das Instrument hier beschrieben werden soll. Dieses Instrument — auch nach Döbereiner,

welcher es zuerst vorgeschlagen hat, benannt — besteht aus einem vertikal aufgestellten Glascylinder, welcher einen becherförmigen gewölbten Boden von dünnem polirten Silberblech hat *a* (Fig. 56). Der Cylinder wird von einem dreifach durchbohrten Pfropfen verschlossen, durch welchen in das Gefäss hineinragen: 1. eine Glasröhre *b* bis dicht an den Boden, 2. eine ebensolche Glasröhre *d*, welche dicht unter dem Pfropfen endigt, 3. ein Thermometer *c*, dessen Kugel sich in der Mitte des Silberbechers befindet. Das Gefäss ist bis über die Thermometerkugel mit Aether gefüllt. Die zweite (kurze) Glasröhre wird mittelst eines aufgestreiften Gummischlauchs mit einem Aspirator in Verbindung gebracht. Der Aspirator *e* besteht aus einem mit Wasser gefüllten verschlossenen Blechgefäss, unten mit einem Hahn zum Ablassen des Wassers und oben mit einem Röhrenansatz versehen zum Aufstreifen des Gummischlauchs. Wird nun Wasser aus dem Aspirator abgelassen, so entsteht eine Luftverdünnung in demselben, durch welche eine saugende Wirkung auf die Luft über dem Aether ausgeübt wird. Infolge dessen tritt Luft durch die lange Glasröhre unter dem Aether ein, so dass ein Luftstrom durch den Aether entsteht. Dadurch wird eine starke Verdampfung des Aethers und Abkühlung im Innern des Gefässes herbeigeführt. Man beobachtet nun den Moment, in welchem die polirte Fläche sich infolge des sich darauf niederschlagenden Wassers trübt, und bestimmt durch gleichzeitiges Ablesen des Thermometers auf diese Weise den Thaupunkt. Darauf wird der Hahn des Aspirators geschlossen und beim Verschwinden der Trübung wieder die Temperatur abgelesen. Das Mittel beider beobachteten Temperaturen giebt den wahren Thaupunkt, da nun der Fehler eliminirt ist, welcher durch nicht genaues Konstatiren des eingetretenen Niederschlages entstanden sein kann.

Fig. 56.



Um diese Wahrnehmung noch zu verschärfen, ist neben dem Gefäss ein zweites von genau derselben Form angebracht, so dass man an dem

Vergleich beider Silberflächen das Eintreten einer Trübung auf der Fläche des erstbeschriebenen Cylinders leicht erkennt. Der zweite Cylinder ist leer und mit einem Thermometer versehen, dessen Ablesung die Temperatur der umgebenden Luft ergiebt.*) Das zweite Gefäss ist nicht durchaus erforderlich. Der Beobachter darf sich dem Instrument nicht nähern, damit die Körperwärme und der Hauch des Beobachters das Resultat nicht beeinflussen. Im Laboratorium geschieht die Ablesung mittelst eines Fernrohrs.

Die Temperatur des Thaupunkts lässt aus den Spannungstabellen unmittelbar das Quantum des in der Luft befindlichen Wasserdampfs entnehmen.

Dieses Instrument kann als Normalinstrument für alle Feuchtigkeitsmesser betrachtet werden. Ist ein solches in Anwendung, so wird ein Haarhygrometer als Interpolationsinstrument von vorzüglichem Nutzen sein.

Statt des Aspirators kann man den Apparat noch einfacher mit einem Gummischlauch an der langen Röhre versehen, durch welchen man dann Luft einbläst. Dadurch wird das Instrument transportabler und für Reisezwecke besser geeignet.

In der Psychrometertafel ist für die Differenz 0° unter Dunstdruck die Spannung des gesättigten Wasserdampfs angegeben. Hat man also z. B. mittelst des Regnaultschen Hygrometers den Thaupunkt 14,9° abgelesen bei gleichzeitiger Temperatur der äusseren Luft von 20°, so erhält man den Dunstdruck 12,6 mm und die relative Feuchtigkeit $\frac{12,6}{17,4} \cdot 100 = 72\,\%$. Eine korrekte Psychrometerablesung hätte 17° am feuchten Thermometer ergeben.

IV. Anemometer.

§ 44.

Wenn man den Wind ohne Instrumente beobachtet, so schätzt man seine Stärke, und es bleibt unbestimmt und für die praktischen Zwecke auch ohne Bedeutung, ob damit der Druck oder die Geschwindigkeit des Windes ausgedrückt ist. Für die Meteorologie ist die Geschwindigkeit des Windes die zu ermittelnde Grösse. Da der Druck des Windes direkt einfacher zu bestimmen ist als seine Geschwindigkeit, so muss man die Beziehung zwischen Druck und Geschwindigkeit zunächst feststellen. Der Druck ist im Allgemeinen proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit, aber dieses Gesetz ist nur für sehr geringe Windstärken experimentell nachgewiesen. Für eine zur Richtung des Windes normal aufgestellte Platte von 0,9 m Umfang ist der Druck $s = 0{,}00855 . v^2$. Für gewisse Windstärken wird jedoch die Unsicherheit dieser Relation

*) Damit die beiden Thermometer von ganz gleichen Verhältnissen beeinflusst werden, trifft man auch wohl die Anordnung, den Aspirator mit beiden Gefässen zu verbinden, beide sind dann mit gleichen Röhren versehen.

von Wild auf 10 % angeschlagen.*) In der Meteorologie wird die Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde angegeben. Ueber die Relation der geschätzten Stärke des Windes zur Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde ist zur Zeit eine Einigung nicht erzielt worden, und die grossen Differenzen in den diesbezüglichen Angaben lassen es unthunlich erscheinen, Anemometer mit Beaufortscher Stärkeskala zu versehen.

Es ist:

		Meter pro Stunde				
Beauforts Stärkeskala		Nach Buys-Ballot und Jelinek		Nach Wild und Scott		Nach Köppen
1	=	1,9	=	3,5	=	2,8
2	=	3	=	6	=	4,1
3	=	4,2	=	8	=	5,4
4	=	6,0	=	10	=	6,9
5	=	10,3	=	12,5	=	8,4
6	=	13,3	=	15	=	10,0
7	=	18,8	=	18	=	11,7
8	=	26,7	=	21,5	=	13,5
9	=	32,6	=	25	=	15,4
10	=	37,6	=	29		
11	=	49,8	=	34		
12	=	59,5	=	40		

Diese Differenzen lassen ersehen, dass die Theilung nach Beauforts Skala unbrauchbar ist, wenn man nicht weiss, welche Windgeschwindigkeit zu Grunde gelegt ist. Die abweichenden Urtheile über Brauchbarkeit von Anemometern an Bord lassen sich zum grossen Theil hierauf zurückführen.**)

Von den gebräuchlichen Anemometern sind die hier in Betracht kommenden folgende:

1. Die Windfahne mit Windstärkemesser nach H. Wild. (Fig. 57.)

Dieselbe wird von Herrn Wild wie folgt beschrieben:

Die Windfahne besteht aus einer eisernen Röhre mit einer Stahlpfanne an ihrem oberen Ende, die auf der Stahlspitze einer durch die Röhre heraufgehenden Eisenstange aufruht und daher mit grosser Leichtigkeit um diese Spitze sich dreht. An ihrem untern Ende trägt die Röhre einerseits die Fahne, bestehend aus zwei unter 20° gegen einander geneigten Eisenblechen, andererseits einen Stab mit Bleigegengewicht; am obern Ende der Röhre ist der Windstärkemesser befestigt. Derselbe ist zusammengesetzt aus einem Bügel, der vermittelst eines Ringes an der Röhre festgeklemmt wird und einer rechteckigen Blechtafel als Halter dient. Die letztere wird nämlich an ihrem oberen etwas verstärkten

*) Wild „Ueber den gegenwärtigen Zustand der Anemometrie", Carls Repertorium, Bd. 13.

**) Die von Köppen gegebenen Zahlen gründen sich auf die neuesten Untersuchungen auf diesem Gebiet und haben sich nach ihrer Einführung bei den Beobachtungen der Seewarte als brauchbar bewährt.

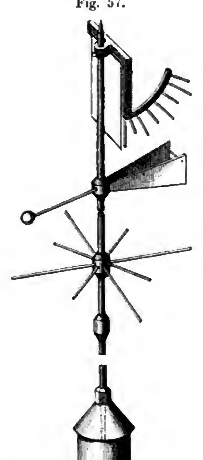
Ende von den Spitzen zweier in dem Bügel steckenden Schrauben gehalten, die ihr als horizontale Drehungsaxe dienen, und bei der Drehung um dieselbe bewegt sie sich längs eines an demselben Bügel befestigten Bogens. Vier an diesem Bogen angebrachte Stifte (in Figur 57 sind noch vier kleinere dazwischen geschaltet) dienen zur Bestimmung des Ausschlagwinkels der Blechtafel, wenn dieselbe nach erfolgter Orientirung senkrecht zur Windfahne vom Winde aus ihrer vertikalen Lage gehoben wird. Die Blechtafel soll 0,30 m lang und 0,15 m breit sein und 250 g wiegen.

Unter dieser Voraussetzung wird dieselbe wie folgt von den verschiedenen Winden gehoben:

Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde	Hebungswinkel der Tafel	Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde	Hebungswinkel der Tafel
1	2,0	7	52,6
2	7,0	8	62.0
3	14,0	9	66,9
4	22,8	10	69,9
5	32,7	12	74,2
6	42,3	14	77,0

Streng geprüft ist der Apparat nur bis 10 m pro Sekunde; die beiden letzten Zahlen sind graphisch interpolirt.

Fig. 57.



Indem man am Gradbogen bloss bei der jeder geraden Geschwindigkeitszahl (mit Auslassung von 12) entsprechenden Winkelstelle einen Stift anbringt, also im Ganzen 6 Stifte, ist es selbst bei Aufstellung der Windfahne auf einem 10 m hohen Maste noch leicht möglich, die Stellung der Platte bis auf durchschnittlich 5° genau abzulesen, resp. die einzelnen Meter der Geschwindigkeit pro Sekunde zu bestimmen. Uebrigens ist zu empfehlen, nicht sowohl die mittlere Stellung der hin- und herschwankenden Tafel, sondern etwa während fünf Minuten die beiden extremsten Lagen derselben zu beobachten; da das Mittel der letzteren viel leichter und sicherer die wahre mittlere Windgeschwindigkeit zur Beobachtungszeit angiebt.

Bei der Anfertigung der Tafel ist darauf zu achten, dass die obigen Dimensionen möglichst genau ein-

gehalten werden, dagegen haben kleine Variationen des Gewichts, selbst von ± 20 g nur geringe Aenderungen des Ausschlagwinkels zur Folge. Die Röhre, welche vor der Platte steht, also zuerst vom Winde getroffen wird und denselben etwas von ihr abhält, hat bei unseren Instrumenten einen Durchmesser von 17 mm.

Die gewöhnlichen Bezeichnungen der Winde dürften sich ungefähr in folgender Weise an die gemessenen Geschwindigkeiten anschliessen:

Gewöhnliche Bezeichnung des Windes	Geschwindigkeit des Windes Meter pro Sekunde	Kilometer pro Stunde	Englische Meilen pro Stunde
Sehr schwacher Wind	1	3,6	2,2
Schwacher "	2	7,2	4,4
Leichter "	3	11	6,7
Mässiger "	4	14	9
Mässig frischer "	5	18	11
Frischer "	6	22	13
Recht frischer "	7	25	16
Mässig starker "	8	29	18
Starker "	9	32	20
Sehr starker "	10	36	22
Mässig heftiger "	12	43	27
Heftiger "	14	50	31
Sehr heftiger "	16	57	36
Mässiger Sturm	18	65	40
Sturm	20	72	45
Starker Sturm	23	83	51
Mässiger Orkan	26	94	58
Orkan	30	108	67
Heftiger Orkan	35	126	79

Unsere Windstärketafel würde also nur bis zum heftigen Wind dessen Stärke resp. Geschwindigkeit zu messen gestatten. Für stärkere Winde muss man aus dem Ausschlag der Tafel über den letzten Stift hinaus wieder den Grad der Stärke schätzen; will man auch die grösseren Geschwindigkeiten messen, so könnte ein zweites Instrument mit einer schwereren Tafel bei gleicher Grösse benutzt werden, indessen stösst für ein solches die empirische Graduirung auf nicht unbedeutende Schwierigkeiten.

2. Das Anemometer nach Hagemann. (Fig. 58.)

Der wichtigste Theil des Instrumentes ist eine U-förmige Glasröhre, an deren Enden Messingröhren luftdicht befestigt sind. Die Messingröhre des rechten Schenkels steht vertikal, ist oben zugespitzt und endigt in eine verengte Oeffnung, während die des linken Schenkels sich umbiegt und in einen Trichter mit horizontaler Axe endigt. Die Glasröhre ist von einer Fassung von Holz oder Hartgummi umgeben, an welchem oben und unten messingene Kapseln befestigt sind. Innerhalb der oberen Kapsel sind die Messingröhren an der Glasröhre befestigt. Zwischen

den beiden Kapseln befindet sich eine schiebbare Hülse von Messing, auf deren vorderer Seite zwei Skalen angebracht sind. Will man das Instrument benutzen, so schiebt man die Hülse so weit hinauf, dass sie an die obere Kapsel anstösst. Hierauf giesst man durch den Trichter soviel Wasser in die Röhre, dass dasselbe ungefähr bis zum untern Rand der Skalenhülse reicht, wenn es in beiden Schenkeln der Röhre gleich hoch steht. Es darf nicht höher reichen als bis zum untern Rande, es kommt aber nicht darauf an, wenn es etwas tiefer steht. Haben sich Luftblasen in den Wassersäulen gebildet, so entfernt man sie, indem man das Instrument rasch auf- und abbewegt.

Fig. 58.

Hält man nun das Instrument vertikal mit der Oeffnung des Trichters gerade dem Winde entgegen, so verursacht der Druck desselben eine Depression der Wassersäule im linken und Steigen derselben im rechten Schenkel, während gleichzeitig der über die Oeffnung der anderen Messingröhre hinstreichende Wind saugend auf die Luft im rechten Schenkel wirkt und infolge dessen das Ansteigen der Wassersäule in diesem Schenkel unterstützt. Da die saugende Kraft des Windes ebenso gross ist wie die Kraft, mit welcher er auf die Wassersäule im linken Schenkel drückt, so erhält man die Wirkung des Windes verdoppelt. Es ist dies insofern von Wichtigkeit, als aus diesem Grunde die Zahl der Skalentheile verdoppelt worden ist.

Die Einstellung geschieht, indem man die Hülse allmälig abwärts schiebt, so dass ihr unterer linker Rand beständig in gleicher Höhe mit dem sinkenden Wasserspiegel im linken Schenkel bleibt. Sobald das Wasser in diesem nicht mehr sinkt, liest man auf der Skala den Theilstrich ab, welcher in gleicher Höhe mit dem Wasserspiegel im rechten Schenkel ist, oder falls der Wasserspiegel zwischen zwei Theilstriche fällt, den niedrigeren. Die der Glasröhre zunächst befindliche Skala giebt die Geschwindigkeit des Windes in Metern pro Sekunde, die andere die Stärke desselben nach Beauforts Skala. Die Glasröhre ist unten, wo sie sich umbiegt, etwas verengt, damit die Bewegung des Wassers sich verlangsame.

Die Verbindung der messingenen Röhren mit der Glasröhre kann mit der Zeit undicht werden. Man entdeckt diesen Uebelstand sehr leicht, wenn man durch den Trichter Luft einbläst, bis das Wasser im andern Schenkel gestiegen ist, und dann sogleich die enge Oeffnung mit dem Finger verschliesst. Ist die Verbindung dicht, so kann keine Luft einströmen, und der Wasserspiegel bleibt auf derselben Höhe. Ist die Röhrenverbindung nicht luftdicht, so muss man rings um dieselbe etwas in Alkohol gelösten Siegellack auftragen. Dieses Anemometer misst ebenso wie das vorhergehende zunächst den Druck des Windes. Ueber die Verwendbarkeit desselben sind die Meinungen noch getheilt. Jedenfalls darf man bei der Beurtheilung nicht davon ausgehen, welche Windstärke nach Beauforts Skala man abliest. Vielmehr kann nur entscheidend sein, wie sich die beobachteten Windgeschwindigkeiten zu denen verhalten, welche ein Normalanemometer angiebt. Als Normalanemometer sind solche nach dem System von Robinson im Gebrauch, Rotationsapparate, welche nicht den Druck, sondern die Geschwindigkeit direkt messen.

Im Folgenden wird das Princip an einem kleineren Apparat dieses Systems erläutert werden.

3. Das Robinsonsche Schalenanemometer.

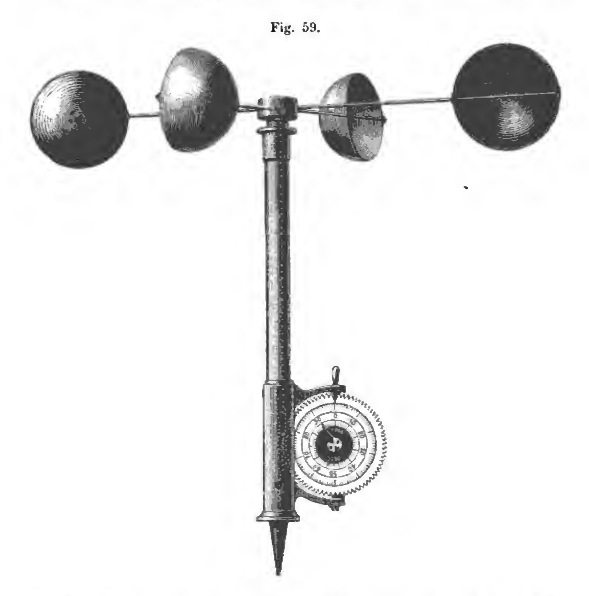
Die folgende Beschreibung bezieht sich auf ein zum Handgebrauch eingerichtetes Instrument von E. Kraft & Sohn in Wien (Fig. 59).

An den Enden eines horizontalen Kreuzes, gebildet von zwei senkrecht sich kreuzenden Metallstäben, sind hohle Halbkugeln von dünnem Blech so angebracht, dass ihre Schnittflächen senkrecht stehen, wenn sich das Anemometer in richtiger Stellung befindet. Bei einer Drehung des Kreuzes um 90° nimmt jede Halbkugel genau die Position der vorhergehenden ein. Wenn das Kreuz z. B. in einem bestimmten Augenblick eine solche Lage hat, dass die Windrichtung parallel zu dem einen (z. B. von W nach O gerichteten) Metallstabe und senkrecht auf dem zweiten ist, so werden die Halbkugeln an den Enden des ersteren Stabes vom Winde in durchaus gleicher Weise afficirt werden, somit kein Bestreben äussern, das Kreuz zu drehen. Anders wird es sich aber mit den beiden Halbkugeln am südlichen und nördlichen Ende des Kreuzes verhalten; ist der Wind westlich, so wird die Halbkugel am südlichen Ende, welche die hohle Seite gegen Westen kehrt, mehr afficirt werden, als die Halbkugel am nördlichen Ende, welche mit der konvexen Seite gegen Westen gewendet ist. Es wird der Wind daher eine Drehung des Kreuzes in dem Sinne hervorbringen, dass die am südlichen Ende befindliche Halbkugel, dem Impulse des Windes folgend, sich gegen Osten bewegen wird, d. h. es wird eine Drehung (von oben gesehen) von rechts nach links (entgegengesetzt dem Sinne, in welchem sich ein Uhrzeiger bewegt) erfolgen. Es ist leicht einzusehen, dass die Wirkung dieselbe sein wird,

es mag der Wind aus welcher Richtung immer wehen — der Sinn der Drehung des horinzontalen Kreuzes bleibt immer derselbe.

Das horizontale Kreuz ist an einer vertikalen Spindel befestigt, welche in der Nähe des unteren Endes mit einer Schraube ohne Ende versehen ist. Diese Schraube greift in die Zähne einer Scheibe, deren Axe horizontal liegt. Auf dieser Scheibe sind zwei koncentrische, in hundert Theile (übereinstimmend mit den Zähnen der Scheibe) getheilte

Fig. 59.



Kreise angebracht. Bei jeder Umdrehung des horizontalen Kreuzes bewegt sich ein Zahn der Scheibe unter der Schraube ohne Ende durch und geht ein Theilstrich des äusseren Kreises an dem oberhalb der Scheibe angebrachten festen Index vorbei. Man kann somit auf diese Weise bis hundert Umdrehungen der Halbkugeln zählen. Hinter dieser Scheibe ist eine zweite von gleichem Durchmesser angebracht, welche mit 101 Zähnen versehen ist, die ebenfalls in die Schraube ohne Ende

eingreifen. An der Axe dieser Scheibe ist ein Zeiger befestigt, der sich über die vordere Scheibe bewegt und dazu dient, die hundertfachen Umdrehungen anzugeben. Zu diesem Zweck ist der innere der beiden Kreise auf der vorderen Scheibe gleichfalls in hundert Theile getheilt, von denen aber jeder Theil hundert Umdrehungen der Halbkugeln entspricht. Da nämlich die hintere Scheibe 101 Zähne hat, so wird sie, und mit ihr der Zeiger, allmälig verschoben, und beträgt diese Verschiebung nach hundert Umdrehungen der Halbkugeln $100 \times 0{,}01$, also einen Theilstrich des inneren Kreises. Es lassen sich somit an diesem Kreise bis 10 000 Umdrehungen der Halbkugeln zählen.

Die Spindel befindet sich in einer messingenen Hülse, an deren unterem Ende eine Schraube befestigt ist, um das Instrument auf einen Stab aufschrauben zu können.

§ 45. Aufstellung eines Anemometers an Bord.

Ueber die Aufstellung eines Anemometers an Bord des russischen Klippers Najesdnik berichtet Herr M. Rykatschew in dem Repertorium für Meteorologie pro 1880 unter Anderem:*) „Damit während der Krängung und des Schaukelns des Schiffes die Drehungsaxe des Anemometers die vertikale Lage beibehält, wurde dieses Instrument kardanisch in Ringen wie ein Kompass aufgehängt. Unten ist an dem Anemometer eine messingene Stange mit einem Gegengewicht von kugelförmiger Gestalt befestigt; die Kugel dient nicht nur dazu, den Schwerpunkt zu erniedrigen, sondern auch, um die durch den Druck des Windes auf das Anemometer bewirkte Ablenkung der Drehungsaxe aus der vertikalen Lage möglichst zu vermeiden. Wie bekannt, versetzt der Wind, wenn er auf ein Anemometer nach Robinsonschem System wirkt, das Schalenkreuz mit einer Kraft in Drehung, welche gleich dem Unterschiede des Widerstandes der konvexen und konkaven Oberfläche der Schalen ist; ausserdem wirkt aber noch auf jede der beiden Schalen zu beiden Seiten der vertikalen Axe in ein und derselben Richtung eine Kraft, die gleich dem dem Winde durch die konvexe Oberfläche der Schale geleisteten Widerstand ist. Diese Kraft bringt keine Drehung um die Vertikalaxe hervor, sondern strebt nur, den ganzen Apparat auf die Seite zu legen. Der erwähnten Kugel kann man nun solche Dimensionen geben und sie in solcher Entfernung unter dem Anemometer anbringen, dass der von der Kugeloberfläche dem Winde geleistete Widerstand näherungsweise dem durch die Schalen des Apparates geleisteten Widerstande gleich wird. Als ersten Versuch gaben wir der Kugel eine zweimal grössere Oberfläche als die-

*) M. Rykatschew: „Ueber Beobachtung der Richtung und Stärke des Windes auf Schiffen.“ In dem Original sind für die Reduktion der Richtung und Stärke des auf Dampfschiffen beobachteten Windes ausführliche Tafeln mitgetheilt, deren Wiedergabe als zu umfangreich hier unterbleiben musste.

jenige einer Kugel, welche von den beiden Schalen des Anemometers zusammen gebildet wird, und der Stange eine Länge, die etwas grösser war als die Entfernung vom Schalenkreuze bis zum Stützpunkt, an welchem das Anemometer aufgehängt ist. Der Versuch lehrte jedoch, dass diese Dimensionen ungenügend waren; sie müssen um etwas vergrössert werden. Das Anemometer ist auf einem Gestell zum Herausschieben aufgestellt. Es befindet sich für gewöhnlich in der niedrigsten Lage und wird nur für die Zeit der Beobachtung aufgezogen, z. B. für 10 Minuten, und sodann auf den früheren Platz hinabgelassen. Aus dem Unterschiede der Ablesungen zu Anfang und Ende dieses Zeitraumes von 10 Minuten erhält man die Geschwindigkeit des Windes; zu diesem Zwecke wird für jedes Anemometer eine besondere Tabelle angefertigt, in welcher für verschiedene Unterschiede der Ablesungen in einem gegebenen Zeitraum die Geschwindigkeit des Windes in Metern pro Sekunde angegeben ist. Die scheinbare oder auf den Schiffen beobachtete Windgeschwindigkeit ist die Resultirende der wahren Geschwindigkeit des Windes und der Geschwindigkeit des Schiffes; da also diese Resultirende und eine ihrer Komponenten — die Schiffsgeschwindigkeit — bekannt sind, so kann man durch Berechnung eines geradlinigen Dreiecks oder auch durch Konstruktion die Richtung und Grösse der anderen Komponente, d. h. der wahren Windgeschwindigkeit finden. Es geben also Beobachtungen der scheinbaren Windrichtung am Wimpel und der scheinbaren Windgeschwindigkeit am Anemometer die Möglichkeit, die wahre Richtung und Geschwindigkeit des Windes zu bestimmen, wenn das Schiff nur durch Dampf bewegt wird, d. h. gerade dann, wenn die Anwendung der Beaufortschen Skala vollkommen unmöglich wird.

„Bei einem Schiff unter Segeln ist die reflektirende und abhaltende Wirkung der Letzteren so gross, dass für ein Anemometer sich für diese Zeit schwerlich ein Platz finden liesse, wo man sich auf seine Angaben verlassen könnte. Wenn in diesem Falle die Richtung und Geschwindigkeit des Windes bestimmt werden soll, so wird es nothwendig sein, während der Zeit der Beobachtung auf 10 Minuten die unteren Segel einzuziehen. Wenn solche Bestimmungen selbst nur einmal am Tage wiederholt werden, so wird der Beobachter sehr schnell die genügende Fertigkeit zur Bestimmung der Windstärke aus den Segeln auch ohne Apparat erwerben."

V. Regen- und Verdunstungsmesser.

§ 46. Regenmesser.

Als Regenmesser kann jedes Gefäss dienen, welches nach oben hin offen und scharf begrenzt ist, sobald man den Flächeninhalt innerhalb der Begrenzungsfläche kennt. Schüttet man das in diesem Gefäss auf-

gefangene Regenwasser in ein Mass und bestimmt sein Quantum, so erhält man leicht die der Flächeneinheit zukommende beobachtete Regenmenge.

Die vom Wiener Meteorologenkongress als die zweckmässigste empfohlene Form besteht in einem kreisrunden Auffangegefäss von 0,1 Quadratmeter Fläche, dessen Rand mit einem konisch geformten ausgedrehten starken Messingring versehen ist. Das Gefäss selbst bildet einen Trichter, durch welchen aller aufgefangene Regen sofort in ein Sammelgefäss abfliesst, so dass nichts oder doch nur wenig durch Verdunstung verloren gehen kann. An dem Sammelgefäss befindet sich ein Hahn, mittelst dessen das gesammelte Regenwasser in ein Messglas entleert werden kann. Das Messglas besteht aus einem Glascylinder von 0,02 Grundfläche, also $^1/_5$ der Oberfläche des Regenmessers. Steht das Wasser 5 mm hoch in diesem Glascylinder, so würde eine fünfmal grössere Fläche 1 mm hoch von derselben Wassermenge bedeckt sein. Man hat dann also mittelst des Regenmessers eine Regenhöhe von 1 mm beobachtet. Hiernach sind an dem Messglas von 5 zu 5 mm Höhe Striche eingeritzt, an welchen man unmittelbar die Regenhöhe in Millimetern abliest.

Die Zuverlässigkeit der Angaben eines Regenmessers hängt in grossem Masse von seiner Aufstellung ab. Die Auffangefläche muss horizontal liegen; die Höhe der Fläche über dem Boden resp. über der Meeresfläche muss konstant sein und im Beobachtungsbuch angegeben werden. Der Ort darf nicht so beschaffen sein, dass sich der Wind dort fängt und Regen oder Schnee dem Regenmesser zutreibt, andererseits darf auch kein Schutz gegen Wind in nächster Nähe vorhanden sein.

Für das Auffangen des Schnees bedient man sich zuweilen eines unter der Auffangefläche ausgebauchten Gefässes, damit der Schnee nicht durch den Wind wieder aus dem Gefäss hinausgetrieben werden kann.

Regenmesser, welche bestimmt sind, an Bord eines Schiffes Verwendung zu finden, sind an dem Trichter zwischen Auffange- und Sammelgefäss mit einer kardanischen Aufhängevorrichtung versehen, mit welcher sie in einer horizontal gerichteten Gabel hängen. Die Hauptschwierigkeit für Schiffsbeobachtungen ist, für diese Aufhängung einen passenden Ort ausfindig zu machen. An der Reeling in der Nähe des Hecks, auf der Kampagne oder an der Kommandobrücke lässt sich ein solcher Platz gewöhnlich ermitteln. Die Beobachtungen des Regenfalls an Bord mit Hülfe eines solchen Instruments sind nirgend allgemein eingeführt, sondern bisher nur fakultativ und versuchsweise vorgenommen.

„Ueberall, wo es geschehen kann, soll die Messung des Niederschlages gleich nach dem Ende des Niederschlages geschehen; ausserdem wird dafür die erste Beobachtungsstunde des Tages empfohlen."

Auf den Beobachtungsstationen der Seewarte sind zwei Regenmesser im Gebrauch, von welchen der eine um 8 Uhr Abends zugedeckt wird, so dass am Morgen die 24stündige und die 12stündige Regenmenge gemessen werden kann.

§ 47. Verdunstungsmesser.

„Die Anforderungen, welche man an einen guten Verdunstungsmesser, — welcher die verdunsteten Wassermengen durch Messung zu bestimmen dienen soll — zu stellen hat, lassen sich in folgende Sätze zusammenfassen: *)

„a) Die Verdunstungsschale darf nicht zu klein sein, und wenn vergleichbare Resultate erzielt werden sollen, so muss bei allen Apparaten sowohl der Durchmesser als die Höhe der Verdunstungsschalen vollkommen gleich sein. Für kleinere Apparate dürfte sich eine Verdunstungsfläche von 250 qcm, für grössere aber eine solche von $^1/_{10}$ qm am besten eignen.

„b) Das Niveau des verdunstenden Wassers in der Verdunstungsschale soll konstant bleiben, da die Verdunstung um so geringer wird, je tiefer der Wasserspiegel unter den Gefässrand zu stehen kommt.

„c) Die Abmessungen der verdunsteten Wassermengen müssen mit der erforderlichen Genauigkeit geschehen können; das verdunstete Wasserquantum soll in Millimetern Höhe abgelesen werden können.“ —

Bei der Auswahl der Apparate ist zunächst der Zweck zu berücksichtigen, welchen man zu erreichen beabsichtigt. Soll das Atmometer als Kontrole für die Psychrometerangaben dienen, und wünscht man den Einfluss der einzelnen Witterungsfaktoren auf die Verdunstung kennen zu lernen, so sollen mindestens täglich zweimalige Beobachtungen angestellt werden. Dazu eignen sich aber nur die kleineren Apparate, die dann ähnlich wie die Thermometer und Psychrometer vor Sonne und Regen geschützt aufzustellen sind.

Ist aber das Ziel der Beobachtung, die Stärke der Verdunstung unter allen in der Natur vorkommenden Umständen kennen zu lernen, soll sich in der Verdunstungsgrösse die Gesammtwirkung der Witterungsfaktoren ausdrücken, soll die Verdunstung also gewissermassen als Spiegel für das örtliche Klima dienen, so müssen die Apparate der Einwirkung der freien Luft und Sonne ausgesetzt werden.

Es sind dann aber auch nicht tägliche Ablesungen nothwendig, sondern etwa nur fünftägige, und als Apparate verwendet man am besten grössere mit einem Querschnitt von 0,1 qm.

Selbstverständlich sind die Resultate der grösseren und kleineren Apparate nicht unmittelbar vergleichbar.

Da nach einem Beschlusse des Kongresses die Auffangefläche der Regenmesser auch 0,1 qm betragen soll, so lässt sich mit Hülfe dieser grösseren Verdunstungsmesser die Differenz zwischen den gefallenen und verdunsteten Wassermengen jedenfalls viel genauer bestimmen als mit den kleineren Apparaten, und es dürften sich deshalb auch die ersteren für praktische Zwecke weit besser eignen, als die letzteren.

*) VI. Sitzung des Meteorologenkongresses zu Wien 1873.

Meteorologische Tabellen.

I.

Verwandlung von Millimetern in englische Zoll und umgekehrt.

Millimeter	Zehntel-Millimeter		Millimeter	Zehntel-Millimeter		Millimeter	Zehntel-Millimeter	
	0	5		0	5		0	5
	Engl. Zoll	Engl. Zoll		Engl. Zoll	Engl. Zoll		Engl. Zoll	Engl. Zoll
690	27,166	27,186	721	28,386	28,406	752	29,607	29,627
691	27,205	27,225	722	28,426	28,445	753	29,646	29,666
692	27,245	27,264	723	28,465	28,485	754	29,686	29,705
693	27,284	27,304	724	28,504	28,524	755	29,725	29,745
694	27,323	27,343	725	28,544	28,564	756	29,764	29,784
695	27,363	27,382	726	28,583	28,603	757	29,804	29,823
696	27,402	27,422	727	28,623	28,642	758	29,843	29,863
697	27,441	27,461	728	28,662	28,682	759	29,882	29,902
698	27,481	27,500	729	28,701	28,721	760	29,922	29,941
699	27,520	27,540	730	28,741	28,760	761	29,961	29,981
700	27,560	27,579	731	28,780	28,800	762	30,001	30,020
701	27,599	27,619	732	28,819	28,839	763	30,040	30,060
702	27,638	27,658	733	28,859	28,878	764	30,079	30,099
703	27,678	27,697	734	28,898	28,918	765	30,119	30,138
704	27,717	27,737	735	28,938	28,957	766	30,158	30,178
705	27,756	27,776	736	28,977	28,997	767	30,197	30,217
706	27,796	27,815	737	29,016	29,036	768	30,237	30,256
707	27,835	27,855	738	29,056	29,075	769	30,276	30,296
708	27,875	27,894	739	29,095	29,115	770	30,316	30,335
709	27,914	27,934	740	29,134	29,154	771	30,355	30,375
710	27,953	27,973	741	29,174	29,193	772	30,394	30,414
711	27,993	28,012	742	29,213	29,233	773	30,434	30,453
712	28,032	28,052	743	29,252	29,272	774	30,473	30,493
713	28,071	28,091	744	29,292	29,312	775	30,512	30,532
714	28,111	28,130	745	29,331	29,351	776	30,552	30,571
715	28,150	28,170	746	29,371	29,390	777	30,591	30,611
716	28,189	28,209	747	29,410	29,430	778	30,630	30,650
717	28,229	28,249	748	29,449	29,469	779	30,670	30,690
718	28,268	28,288	749	29,489	29,508	780	30,709	30,729
719	28,308	28,327	750	29,528	29,548	781	30,749	30,768
720	28,347	28,367	751	29,567	29,587	782	30,788	30,808

II.

Reduktion der Barometerstände in Millimetern auf 0° Temperatur

0,000162 $t\,b'$ (für Barometer mit messingener Skala). *)

Celsius	690mm	700mm	710mm	720mm	730mm	740mm	750mm	760mm	770mm	780mm
°	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
−10	+ 1,1	+ 1,1	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,2	+ 1,3	+ 1,3
9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
− 1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1	+ 0,1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
+ 1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1	− 0,1
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8
7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
10	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3
11	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4
12	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
13	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
14	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
15	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9
16	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
17	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
18	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3
19	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4
20	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5
21	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6
22	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8
23	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9
24	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0
25	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,0	3,0	3,1	3,1	3,1
26	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3
27	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4
28	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5
29	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6
+30	− 3,3	− 3,4	− 3,4	− 3,5	− 3,5	− 3,6	− 3,6	− 3,7	− 3,7	− 3,8

*) Vergl. § 18, Seite 52.

III.

Schwerekorrektion des Quecksilberbarometers.*)

Reduktion auf die Breite 45° und den Meeresspiegel

$$B_0^{45} = B - 0{,}002573\, B \cos 2\varphi - 0{,}000000314\, B\, H.$$

Breite φ	Höhe über dem Meer H und Barometerstand B										
	0	100	200	300	400	500	600	800	1000	2000	3000 m
	760	750	740	730	720	710	700	690	670	590	520mm
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0°	—1,96	—1,95	— 1,95	— 1,95	— 1,94	— 1,94	— 1,93	— 1,95	— 1,93	— 1,89	— 1,83
5	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92	1,91	1,91	1,92	1,90	1,87	1,81
10	1,84	1,83	1,83	1,84	1,83	1,83	1,83	1,84	1,82	1,80	1,75
15	1,70	1,69	1,69	1,70	1,69	1,69	1,69	1,70	1,70	1,68	1,65
20	1,50	1,50	1,50	1,52	1,51	1,51	1,51	1,53	1,53	1,53	1,51
25	—1,26	—1,26	— 1,27	— 1,28	— 1,28	— 1,29	— 1,30	— 1,32	— 1,32	— 1,35	— 1,35
30	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,06	1,07	1,13	1,16
35	0,67	0,68	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,78	0,79	0,90	0,95
40	0,34	0,36	0,38	0,40	0,41	0,43	0,45	0,48	0,51	0,64	0,72
45	0,00	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,17	0,21	0,37	0,49
40	—0,34	—0,36	— 0,38	— 0,40	— 0,41	— 0,43	— 0,45	— 0,48	— 0,51	— 0,64	— 0,72
41	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,45	0,59	0,68
42	0,20	0,22	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,36	0,39	0,53	0,63
43	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,33	0,48	0,58
44	—0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,27	0,43	0,54
45	0,00	—0,02	— 0,05	— 0,07	— 0,09	— 0,11	— 0,13	— 0,17	— 0,21	— 0,37	— 0,49
46	+0,07	+0,05	+ 0,02	0,00	— 0,03	— 0,05	— 0,07	— 0,11	— 0,15	0,32	0,44
47	0,14	0,11	0,09	+ 0,06	+ 0,04	+ 0,02	— 0,01	— 0,05	— 0,09	0,27	0,40
48	0,20	0,18	0,15	0,13	0,10	0,08	+ 0,06	+ 0,01	— 0,03	0,21	0,35
49	0,27	0,25	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,07	+ 0,03	0,16	0,30
50	+0,34	+0,31	+ 0,28	+ 0,26	+ 0,23	+ 0,21	+ 0,18	+ 0,14	+ 0,09	— 0,11	— 0,26
51	0,41	0,38	0,35	0,32	0,30	0,27	0,24	0,20	0,15	— 0,06	0,21
52	0,47	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26	0,21	— 0,00	0,17
53	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,39	0,37	0,32	0,27	+ 0,05	0,12
54	0,60	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	0,42	0,38	0,32	0,10	0,08
55	+0,67	+0,64	+ 0,60	+ 0,57	+ 0,54	+ 0,51	+ 0,48	+ 0,43	+ 0,38	+ 0,15	— 0,03
56	0,73	0,70	0,67	0,64	0,60	0,57	0,54	0,49	0,44	0,20	+ 0,01
57	0,80	0,77	0,73	0,70	0,66	0,63	0,60	0,55	0,49	0,25	0,05
58	0,86	0,83	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,60	0,55	0,29	0,10
59	0,92	0,88	0,85	0,81	0,78	0,75	0,71	0,66	0,60	0,34	0,14
60	+0,98	+0,94	+ 0,90	+ 0,87	+ 0,84	+ 0,80	+ 0,77	+ 0,71	+ 0,65	+ 0,39	+ 0,18
65	1,26	1,22	1,18	1,14	1,10	1,06	1,03	0,97	0,90	0,60	0,37
70	1,50	1,46	1,41	1,37	1,33	1,29	1,25	1,19	1,11	0,79	0,54
75	1,70	1,65	1,60	1,56	1,51	1,47	1,43	1,37	1,28	0,94	0,67
80	1,84	1,79	1,74	1,70	1,65	1,61	1,56	1,50	1,41	1,06	0,77
85	1,93	1,88	1,82	1,78	1,74	1,69	1,64	1,58	1,49	1,12	0,83
90	+1,96	+1,91	+ 1,85	+ 1,81	+ 1,76	+ 1,72	+ 1,67	+ 1,61	+ 1,51	+ 1,15	+ 0,85

*) Diese und die folgende Tafel sind mit Bewilligung des Verfassers entnommen aus Jordans Vermessungskunde.

IV.

a. Ausdehnung der Luft durch die Wärme.

$\log(1 + 0{,}003665\, t)$

t	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
	0.	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0	00000	00016	00032	00048	00064	00079	00095	00111	00127	00143
1	00159	00175	00191	00206	00222	00238	00254	00270	00286	00301
2	00317	00333	00349	00364	00380	00396	00412	00428	00443	00459
3	00475	00491	00506	00522	00538	00553	00569	00585	00601	00616
4	00632	00648	00663	00679	00695	00710	00726	00742	00757	00773
5	00789	00805	00820	00835	00851	00867	00882	00898	00913	00929
6	00945	00960	00976	00991	01007	01022	01038	01053	01069	01085
7	01100	01116	01131	01147	01162	01178	01193	01209	01224	01240
8	01255	01270	01286	01301	01317	01332	01348	01363	01379	01294
9	01409	01425	01440	01456	01471	01486	01502	01517	01532	01548
10	01563	01579	01594	01609	01625	01640	01655	01671	01686	01701
11	01716	01732	01747	01762	01778	01793	01808	01823	01839	01854
12	01869	01884	01900	01915	01930	01945	01961	01976	01991	02006
13	02021	02037	02052	02067	02082	02097	02112	02128	02143	02158
14	02173	02188	02203	02218	02234	02249	02264	02279	02294	02309
15	02324	02339	02354	02369	02384	02400	02415	02430	02445	02460
16	02475	02490	02505	02520	02535	02550	02565	02580	02595	02610
17	02625	02640	02655	02670	02685	02700	02715	02730	02745	02760
18	02775	02789	02804	02819	02834	02849	02864	02879	02894	02909
19	02924	02938	02953	02968	02983	02998	03013	03028	03042	03057
20	03072	03087	03102	03117	03131	03146	03161	03176	03191	03205
21	03220	03235	03250	03264	03279	03294	03309	03323	03338	03353
22	03368	03382	03397	03412	03427	03441	03456	03471	03485	03500
23	03515	03529	03544	03559	03573	03588	03603	03617	03632	03647
24	03661	03676	03690	03705	03720	03734	03749	03764	03778	03793
25	03807	03822	03836	03851	03866	03880	03895	03909	03924	03938
26	03953	03967	03982	03996	04011	04025	04040	04054	04069	04083
27	04098	04112	04127	04141	04156	04170	04185	04199	04214	04228
28	04243	04257	04271	04286	04300	04315	04329	04343	04358	04372
29	04387	04401	04415	04430	04444	04459	04473	04487	04502	04516
30	04530	04545	04559	04573	04588	04602	04616	04631	04645	04659
31	04673	04688	04702	04716	04731	04745	04759	04773	04788	04802
32	04816	04830	04845	04859	04873	04887	04902	04916	04930	04944
33	04958	04973	04987	05001	05015	05029	05043	05058	05072	05086
34	05100	05114	05128	05143	05157	05171	05185	05199	05213	05227

Für Temperaturen unter 0°:

$t =$	−1°	−2°	−3°	−4°	−5°	−6°	−7°	−8°	−9°	−10°
$\log =$	9,99841	99680	99520	99359	99197	99034	98871	98708	98543	98387

$K = 18400$ $\log K = 4{,}26482.$

b. Logarithmische Höhenkorrektion für Luftfeuchtigkeit

$$log\left(1 + 0{,}377\ \frac{e}{B}\right).$$

B	Dunstdruck e										Δ
	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm	9 mm	10 mm	11 mm	12 mm	
mm	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	+
580	00084	00112	00141	00169	00197	00225	00253	00281	00309	00337	28
590	00083	00111	00139	00166	00194	00222	00249	00277	00304	00332	28
600	00082	00109	00136	00163	00190	00218	00245	00272	00299	00326	27
610	00080	00107	00134	00161	00188	00214	00241	00268	00294	00321	27
620	00079	00105	00132	00158	00184	00210	00238	00263	00290	00316	26
630	00078	00104	00130	00155	00181	00207	00233	00259	00285	00311	26
640	00076	00102	00127	00153	00179	00204	00230	00255	00281	00306	25
650	00075	00100	00125	00151	00176	00201	00226	00251	00276	00301	25
660	00074	00099	00123	00148	00173	00198	00222	00247	00272	00296	24
670	00073	00098	00122	00146	00171	00195	00220	00244	00268	00292	24
680	00072	00096	00120	00144	00168	00192	00216	00240	00264	00288	24
690	00071	00095	00118	00142	00166	00190	00213	00237	00260	00284	24
700	00070	00093	00116	00140	00163	00186	00210	00233	00257	00280	23
710	00069	00092	00115	00138	00161	00184	00207	00230	00253	00276	23
720	00068	00091	00113	00136	00159	00182	00204	00227	00249	00272	23
730	00067	00090	00112	00134	00157	00179	00202	00224	00246	00268	22
740	00066	00088	00110	00133	00155	00177	00199	00221	00243	00265	22
750	00065	00087	00109	00131	00153	00174	00196	00218	00240	00261	22
760	00064	00086	00107	00129	00150	00172	00193	00215	00236	00258	22
770	00064	00085	00106	00127	00148	00170	00191	00212	00233	00255	22

c. Logarithmische Höhenkorrektion für geographische Breite φ

$log\,(1 + \beta\cos 2\varphi)$ mit $\beta = 0{,}002573$.

φ	$log\,(1+\beta\cos 2\varphi)$	Δ	φ	$log\,(1+\beta\cos 2\varphi)$	Δ	φ	$log\,(1+\beta\cos 2\varphi)$	Δ	φ	$log\,(1+\beta\cos 2\varphi)$	Δ
		−			−			−			−
0°	0,00112	2	40°	0,00019	3	50°	9,99981	4	45°	0,00000	19
5	0,00110	5	41	0,00016	4	51	9,99977	4	50	9,99981	19
10	0,00105	8	42	0,00012	4	52	9,99973	4	55	9,99962	18
15	0,00097	11	43	0,00008	4	53	9,99969	4	60	9,99944	16
20	0,00086	14	44	0,00004	4	54	9,99965	3	65	9,99928	14
25	0,00072	16	45	0,00000	4	55	9,99962	4	70	9,99914	11
30	0,00056	18	46	9,99996	4	56	9,99958	3	75	9,99903	8
35	0,00038	19	47	9,99992	4	57	9,99955	4	80	9,99895	5
40	0,00019	19	48	9,99988	4	58	9,99951	3	85	9,99890	2
45	0,00000		49	9,99984		59	9,99948		90	9,99888	

d. Logarithmische Höhenkorrektion für die mittlere Höhe H der Stationen über dem Meer

$$log\left(1 + \frac{2H}{r}\right) \text{ mit } r = 6\,370\,000 \text{ m}.$$

H	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
m	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0	00000	00001	00003	00004	00005	00007	00008	00010	00011	00012
1000	00014	00015	00016	00018	00019	00020	00022	00023	00025	00026
2000	00027	00029	00030	00031	00033	00034	00035	00037	00038	00040
3000	00041	00042	00044	00045	00046	00048	00049	00050	00052	00053
4000	00055	00056	00057	00059	00060	00061	00063	00064	00065	00067
5000	00068	00070	00071	00072	00074	00075	00076	00078	00079	00080

V.

Abgekürzte Psychrometertafel für den Gebrauch an Bord.

Nach Mohn „Grundzüge der Meteorologie“.

Feuchtes Thermometer	Differenz der beiden Thermometer 0°			1°			2°			3°		
	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt
°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.
+ 30	31,5	100	+30,0	30,9	93	+29,6	30,3	86	+29,3	29,7	79	+ 28,9
29	29,8	100	29,0	29,2	92	28,6	28,5	85	28,3	27,9	79	27,9
28	28,1	100	28,0	27,5	92	27.6	26,9	85	27,2	26,2	79	26,8
27	26,5	100	27,0	25,9	92	26,6	25.3	85	26,2	24,6	78	25.8
26	25,0	100	26,0	24.4	92	25,6	23,7	85	25,1	23,1	78	24,7
25	23.5	100	25,0	22,9	92	24,6	22,3	84	24,1	21,7	77	23,6
24	22,2	100	24,0	21,6	92	23,5	21,0	84	23,0	20,3	77	22,6
23	20,9	100	23,0	20,3	91	22,5	19,7	83	22,0	19,0	76	21,5
22	19,7	100	22,0	19,0	91	21,5	18.4	83	20,9	17.8	76	20.4
21	18,5	100	21,0	17.9	91	20,4	17.3	83	19,9	16,7	75	19,3
20	17,4	100	20,0	16,8	91	19,4	16.2	82	18,8	15,6	74	18,2
19	16,4	100	19,0	15,7	91	18,4	15,1	82	17,8	14,5	74	17,1
18	15,4	100	18,0	14,8	90	17,4	14,1	81	16,7	13,5	73	16.0
17	14,4	100	17,0	13,8	90	16,3	13,2	81	15.6	12,6	72	14,9
16	13,5	100	16,0	12,9	90	15,3	12.3	80	14.5	11,7	72	13,7
15	12,7	100	15,0	12,1	89	14,2	11,5	80	13,4	10.9	71	12,6
14	11,9	100	14,0	11,3	89	13,2	10,7	79	12.3	10,1	70	11,4
13	11,2	100	13,0	10,6	89	12,1	10,0	78	11,2	9,3	69	10.3
12	10.5	100	12.0	9,9	88	11,1	9.3	78	10,1	8.6	68	9,1
11	9,8	100	11,0	9,2	88	10,0	8,6	77	9,0	8,0	67	7,9
10	9,2	100	10,0	8,6	87	9,0	8,0	76	7,9	7,4	66	6,7
9	8,6	100	9,0	8,0	86	7,9	7,4	75	6,8	6,8	65	5,5
8	8,0	100	8,0	7,4	86	6,9	6,8	74	5,6	6,2	63	4,2
7	7,5	100	7,0	6,9	86	5,8	6,3	73	4,5	5,7	62	3,0
6	7,0	100	6,0	6,4	85	4,7	5,8	72	3,3	5.2	61	1,7
5	6,5	100	5,0	5,9	85	3 5	5,3	71	2,1	4,7	59	+ 0,4
4	6,1	100	4,0	5,5	84	2,5	4,9	70	+ 0,9	4,3	57	— 0,9
3	5,7	100	3,0	5,1	83	1,5	4.5	69	— 0,3	3,9	56	2,2
2	5,3	100	2,0	4,7	83	+ 0,3	4,1	67	1,5	3,5	54	3,5
1	4,9	100	+ 1,0	4.4	82	— 0,7	3,8	66	2,7	3,2	52	4,9
+ 0	4.6	100	0,0	4,0	81	1,8	3,4	64	3,9	2,8	50	6,3
— 0	4,6	100	0,0	4,1	82	1,7	3,5	67	3,5	3,0	53	5,5
1	4,3	100	— 1,0	3,7	81	2,8	3,2	65	4,6	2.7	51	6,9
2	4.0	100	2,0	3.4	80	3.8	2,9	63	5,9	2,4	48	8,4
3	3.7	100	3.0	3,1	79	5.0	2,6	61	7,3	2,1	45	9.9
4	3,4	100	4.0	2,9	78	6,1	2,3	59	8,6	1,8	43	11,6
5	3,1	100	5,0	2.6	77	7,3	2,1	57	9.9	1,6	40	13,5
6	2.9	100	6,0	2,4	76	8,4	1,9	55	11,4	1,3	36	15,5
7	2,7	100	7,0	2,2	74	9,6	1,6	52	13,0	1.1	32	17.7
8	2,5	100	8,0	1,9	73	10,9	1,4	49	14,7	0,9	28	20,2
9	2,3	100	9,0	1.7	71	12,2	1,2	46	16,5	0,7	24	23,1
— 10	2,1	100	—10,0	1,6	69	—13,6	1,0	42	—18,5	0,5	20	— 26,4

V.

Abgekürzte Psychrometertafel für den Gebrauch an Bord.

Nach Mohn „Grundzüge der Meteorologie".

Feuchtes Thermometer	Differenz der beiden Thermometer											
	4°			5°			6°			7°		
	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt	Dunstdruck	Relative Feuchtigkeit	Thaupunkt
°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.	mm	pCt.	°C.
+ 29	27,3	73	+27.5									
28	25,6	72	26,4	25,0	67	+26,0						
27	24.0	72	25,3	23,4	66	24.9	22,8	61	+24,4			
26	22,5	71	24.2	21,9	65	23.8	21,3	60	23,3	20,6	55	+ 22,8
25	21,1	71	23,1	20,5	65	22,7	19,8	59	22,1	19.2	54	21,6
24	19,7	70	22,0	19.1	64	21.5	18.5	59	21,0	17,9	53	20.4
23	18,4	69	20,9	17,8	63	20,4	17,2	58	19,8	16,6	53	19,2
22	17,2	69	19.8	16,6	63	19,2	16,0	57	18,6	15,4	52	18,0
21	16,0	68	18,7	15,4	62	18,1	14,8	56	17,5	14,2	51	16,7
20	14,9	67	17,6	14,3	61	16,9	13,7	55	16,2	13,1	49	15,5
19	13.9	66	16.5	13,3	60	15.7	12,7	54	14,9	12.1	48	14.2
18	12,9	66	15.2	12,3	59	14.5	11,7	53	13,7	11,1	47	12,9
17	12,0	65	14,1	11,4	58	13,3	10.8	52	12,5	10,1	46	11,5
16	11,1	64	12,9	10,5	57	12,1	9,9	50	11,1	9,3	44	10,2
15	10,3	63	11,7	9,7	55	10,8	9,1	49	9.8	8,4	43	8,8
14	9.5	62	10,5	8,9	54	9,5	8,3	47	8,4	7,7	41	7,3
13	8,7	61	9,3	8,1	53	8,2	7,5	46	7,1	6,9	40	5,8
12	8,0	59	8,0	7,4	52	6,9	6,8	44	5.6	6,2	38	4,3
11	7,4	58	6,8	6,8	50	5,5	6,2	43	4,1	5,6	36	2,7
10	6,8	57	5.5	6,2	48	4,1	5,5	41	2,6	4,9	34	+ 1,0
9	6,2	55	4.1	5,6	47	2,7	5,0	39	+ 1,1	4,4	32	— 0,7
8	5,6	54	2.8	5.0	45	+ 1,2	4,4	37	— 0,6	3,8	30	2,5
7	5,1	52	+ 1,5	4,5	43	— 0,3	3,9	35	2,2	3,3	28	4,4
6	4,6	50	0,0	4,0	41	1,9	3,4	33	4,0	2,8	25	6,4
5	4,1	48	— 1,4	3,5	39	3,4	2,9	30	5,8	2,3	22	8.6
4	3,7	46	2,8	3,1	36	5,1	2,5	28	7,7	1,9	19	11,0
3	3,3	44	4,3	2.7	34	6,8	2,1	25	9,8	1,5	16	13.9
2	2,9	42	5,9	2,3	31	8,7	1,7	22	12,3	1,1	13	17,5
1	2,6	39	7,5	2,0	28	10.7	1,4	18	15,1	0,8	10	21,8
+ 0	2,2	36	9.2	1,6	25	13,0	1,0	15	18.5	0,4	6	— 28,0
— 0	2,5	40	7.8	2,0	30	10.5	1,4	20	15,1	0,9	12	
1	2,2	38	9.5	1.6	27	12,9	1,1	17	17,5			
2	1,9	35	11,4	1.3	23	15,5	0,8	13	—21,5			
3	1,6	32	13.5	1,0	19	18,4						
4	1,3	28	15,8	0.8	15	—21.7						
5	1,0	24	18,5									
6	0,8	20	21,4									
7	0,6	16	25,0									
8	0,4	11	—29.8									
— 9	0,2	6										

VI.

Vergleichung der Thermometerskalen von Celsius und Fahrenheit.

C. = Celsius, F. = Fahrenheit.

F.	C.	F.	C.	F.	C.	F.	C.	F.	C.
°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
+ 104	+ 40,0	+ 75	+ 23,9	+ 46	+ 7,8	+ 17	− 8,3	− 12	− 24,4
103	39,4	74	23,3	45	7,2	16	8,9	13	25,0
102	38,9	73	22,8	44	6,7	15	9,4	14	25,6
101	38,3	72	22,2	43	6,1	14	10,0	15	26,1
100	37,8	71	21,7	42	5,6	13	10,6	16	26,7
99	37,2	70	21,1	41	5,0	12	11,1	17	27,2
98	36,7	69	20,6	40	4,4	11	11,7	18	27,8
97	36,1	68	20,0	39	3,9	10	12,2	19	28,3
96	35,6	67	19,4	38	3,3	9	12,8	20	28,9
95	35,0	66	18,9	37	2,8	8	13,3	21	29,4
94	34,4	65	18,3	36	2,2	7	13,9	22	30,0
93	33,9	64	17,8	35	1,7	6	14,4	23	30,6
92	33,3	63	17,2	34	1,1	5	15,0	24	31,1
91	32,8	62	16,7	33	+ 0,6	4	15,6	25	31,7
90	32,2	61	16,1	32	0,0	3	16,1	26	32,2
89	31,7	60	15,6	31	− 0,6	2	16,7	27	32,8
88	31,1	59	15,0	30	1,1	+ 1	17,2	28	33,3
87	30,6	58	14,4	29	1,7	0	17,8	29	33,9
86	30,0	57	13,9	28	2,2	− 1	18,3	30	34,4
85	29,4	56	13,3	27	2,8	2	18,9	31	35,0
84	28,9	55	12,8	26	3,3	3	19,4	32	35,6
83	28,3	54	12,2	25	3,9	4	20,0	33	36,1
82	27,8	53	11,7	24	4,4	5	20,6	34	36,7
81	27,2	52	11,1	23	5,0	6	21,1	35	37,2
80	26,7	51	10,6	22	5,6	7	21,7	36	37,8
79	26,1	50	10,0	21	6,1	8	22,2	37	38,3
78	25,6	49	9,4	20	6,7	9	22,8	38	38,9
77	25,0	48	8,9	19	7,2	10	23,3	39	39,4
76	24,4	47	8,3	18	7,8	11	23,9	40	40,0

Apparate und Instrumente
für
oceanische Beobachtungen.

---

§ 48. Theorie der Lothe und Lothleinen.

Wenn ein Körper im Wasser ein grösseres Gewicht hat als das Wasser, welches er verdrängt, so sinkt er unter und nimmt unter dem Einfluss der Schwerkraft und des Wasserwiderstandes eine Fallgeschwindigkeit an, welche als von vornherein gleichförmig zu betrachten ist und abhängt von dem Gewicht des eingetauchten Körpers und dem Widerstande, welchen seine Oberfläche dem Wasser bietet, nach der Formel:

$$v^2 = \frac{2gP}{w},$$

worin sich w zusammensetzt aus dem kubischen Gewicht des Wassers, dem Querschnitt der der Wirkung des Wassers ausgesetzten Fläche und einem von Form und Oberflächenbeschaffenheit abhängigen Koëfficienten, während P das Gewicht und g die Beschleunigung der Schwere bezeichnen.

Ist der fallende Körper ein Loth mit Leine, so nimmt die Geschwindigkeit schnell ab, weil der Zuwachs an Gewicht nur unbedeutend ist, dagegen die Reibung und das Gewicht des mitgerissenen Wassers mit wachsender Länge der Leine den Werth des Nenners in der Formel stetig vermehrt. Der Widerstand von Leinen gleicher Länge ist bei gleicher äusserer Beschaffenheit ihrer Oberfläche, also ihrem Durchmesser, proportional; die Tragkraft aber wächst in gewissen Grenzen mit dem Querschnitt, also mit dem Quadrat des Durchmessers. Unter Anwendung eines der Tragkraft entsprechenden Gewichts ist daher immer mit stärkeren Leinen die grössere Fallgeschwindigkeit erreichbar.

Es möchte scheinen, als ob man von der Tragkraft absehen könnte, wenn man auf die Wiedererlangung des Loths verzichten wollte, indem man eine Leine von geringerer Tragkraft als dem Gesammtgewichte des fallenden Loths von diesem frei nachziehen lässt. Aber die lose, dem Gewicht nachgeworfene Leine würde bei einer gewissen Tiefe brechen, weil die Fallgeschwindigkeit des Loths der Leine eine Spannung mittheilt, welche ihre Tragkraft übersteigt. Dies erkennt man, wenn man die Fallzeiten verschiedener Lothe betrachtet. Die Geschwindigkeit nimmt rasch

ab. Die Differenz zwischen dieser Geschwindigkeit und derjenigen, welche dem ohne Leine fallenden Loth zukommt, ist umgesetzt in Spannung der Leine bei Ueberwindung des Reibungswiderstandes.

Wenn beispielsweise ein Loth von 50 kg Gewicht ohne Leine mit 6 m Geschwindigkeit in der Sekunde fällt und man beobachtet, dass mit daran befestigter Leine bei gewisser Tiefe nur 3 m Geschwindigkeit übrig bleiben, welche bei gleicher Oberfläche einem Gewicht von etwa 11 kg zukommt, so beträgt die Spannung der — an der Wasseroberfläche lose nachgeworfenen — Leine 39 kg. Beträgt die Bruchbelastung dieser Leine nicht mehr als 39 kg, so muss sie bei dieser Tiefe brechen wegen der zu grossen Geschwindigkeit, welche ihr das Loth mittheilt. Aus demselben Grunde darf die Leine nach abgeworfenem Gewicht nur mit einer ihrer Tragkraft entsprechenden Geschwindigkeit wieder eingeholt werden.

Das Vorstehende lässt sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

1. Einer jeden Fallgeschwindigkeit des Loths entspricht eine Spannung der frei auslaufenden Leine, welche sich bei zunehmender Tiefe dem Gesammtgewicht des eingetauchten Loths mit Leine nähert.

2. Die Fallgeschwindigkeit ist abhängig von dem Gewicht des eingetauchten Loths mit Leine und dem Reibungswiderstand der Leine.

3. Sehr dünne Leinen sind ihrer im Verhältniss zum Umfang geringen Tragkraft wegen bei gleicher Qualität unvortheilhaft, weil sie nur geringe Fallgeschwindigkeiten zu ertragen vermögen, selbst wenn man auf ihr Einholen verzichten will.

4. Bei Anwendung schwerer Lothe kann man grosse Fallgeschwindigkeiten erreichen und zugleich Leinen anwenden, welche gestatten, das Loth selbst, oder bei sehr grossen Tiefen (über 2500 m) doch nach Auslösung des Loths noch Grund- und Wasserproben, mit Sicherheit heraufzubefördern.

Es kommt danach bei Wahl der Leine das Gewicht in Betracht, welches man dem Loth geben kann, ohne die Handhabung desselben zu sehr zu erschweren. Als Grenze hierfür kann man 200 kg Gewicht annehmen. Als Bruchbelastung der Leine ist dann mindestens das Doppelte anzunehmen. Dies reicht aber nur für günstige Verhältnisse aus. Bewegt sich das Schiff bei unruhiger See oder sind Strömungen vorhanden, so erhöhen sich die Spannungen zum Theil stossweise und unberechenbar.*) Sollen dann noch Wasserschöpfer und Grundproben an die Oberfläche befördert werden, so kann man die Leinen, welche ohnehin durch Feuchtigkeit beim Gebrauch schnell leiden, nicht mit mehr als $^1/_4$ bis $^1/_3$ ihrer Probebelastung beschweren.

Um bei grosser Tiefe die Grundberührung erkennen zu können, ist es nicht allein erforderlich, dass die Fallgeschwindigkeit gross ist, sondern

*) An Bord des Dampfers Blake wurden beim Einwinden des Drahtloths bei unruhiger See Schwankungen bis zu 40 kg am Dynamometer abgelesen.

es muss auch die durch das Eigengewicht verursachte Auslaufgeschwindigkeit der unbelasteten Leine möglichst gering sein. Das specifische Gewicht von Hanfleinen beträgt bei einiger Spannung im Seewasser 1,2, das kubische Gewicht der eingetauchten Leine, welches die Leine sinken lässt, also 0,2 des Seewassers. Wenn für die Leine bezeichnet:

u den Umfang,
l die Länge,
φ den Widerstandskoëfficienten der Oberfläche,

so ist $0{,}2 \,.\, 1013 \,.\, l \frac{u^2}{4\pi}$ das Gewicht der Leine im Seewasser (für letzteres 1030 kg kubisches Gewicht angenommen) und $\varphi \,.\, u \,.\, l$ der Widerstand ihrer Oberfläche. Es ist danach:

Fig. 60.



$$v^2 \,.\, \varphi \,.\, u \,.\, l = 2\,g \,.\, 0{,}2 \,.\, 1030\, l \frac{u^2}{4\pi} \text{ oder:}$$

$$v = \sqrt{\frac{2g \,.\, u \,.\, 0{,}2 \,.\, 1030}{4\pi \,.\, \varphi}} = \sqrt{\frac{u}{\varphi}} \times \text{konst.}$$

Nach dieser Formel würde die Auslaufgeschwindigkeit der unbelasteten Leine wachsen mit dem Umfang, abnehmen mit wachsender Unebenheit und unabhängig sein von der Länge der Leine.*) Daraus folgt: 1) Sobald das Loth den Grund berührt hat, läuft die Leine mit gleichmässiger Geschwindigkeit aus. 2) Um die Auslaufgeschwindigkeit der unbelasteten Leine zu vermindern, unbeschadet der Geschwindigkeit beim Fallen des Loths, sind Leinen von geringer Stärke mit grosser Tragkraft erforderlich.

§ 49. Tieflothleinen.

Zu Tieflothleinen wird bester italienischer Hanf verwendet, der gut ausgekämmt ist. Um Kinke zu vermeiden, müssen die Leinen sehr gleichmässig lang geschlagen sein. Nach englischen Versuchen ist Trossenschlag vortheilhafter als Kabelschlag. Die einzelnen Enden werden durch Kutsplissungen (Fig. 60) oder mittelst kupferner Wirbelschäkel verbunden.

Auf dem Challenger und der Gazelle waren folgende englische Leinen in Gebrauch:

	Umfang	Bruchbelastung Trocken	Bruchbelastung Nass	Gewicht für je 1000 m
I.	25,4 mm (1")	792 kg (16 kg pro qmm)	702 kg (14 kg pro qmm)	46 kg
II.	20,3 mm (0,8")	631 kg (19,3 kg pro qmm)	545 kg (16,5 kg pro qmm)	30 kg

*) In Wirklichkeit wächst der Widerstand langsamer als die Länge der Leine, woraus für grosse Tiefen eine etwas beschleunigte Auslaufgeschwindigkeit resultirt.

Die früheren Lothungen der Amerikaner (mit Brookes Lothapparat) wurden mit sehr dünnen Leinen ausgeführt, z. B.:

	Umfang	Bruchbelastung	Gewicht für je 1000 m
III.	5,6 mm (0,07")	27 kg	1,4 kg

Später wurden auch dort nur stärkere Leinen bei entsprechend vermehrtem Gewicht verwendet, z. B. auf der Tuscarora:

	Umfang	Bruchbelastung
IV. Manilaleinen	32 mm ($1\frac{1}{4}$")	824 kg
V. Hanfleinen, karbolisirt	32 mm ($1\frac{1}{4}$")	531 kg

(Das Karbolisiren zur besseren Konservirung erfüllte diesen Zweck nicht und verminderte die Tragfähigkeit.)

Zur Verminderung des Widerstandes werden die Tieflothleinen auch mit einer Mischung von Leinöl und Wachs abgerieben und geglättet.

Der folgende Vergleich der Leinen I und III wird dazu dienen, das Vorhergehende (§ 48) zu erläutern. Die Tabellen der Auslaufzeiten sind das Mittel aus vielen Lothungen, die der Leine I aus denen der Challenger, von Tizard zusammengestellt, die der Leine III aus den Lothungen des Dolphin nach Trowbridge.

Leine I. Englische Leine 25,4 mm. — Leine III. Amerikanische Leine 5,6 mm.

Tiefe in englischen Faden	Beobachtetes Zeitintervall, Belastung 3 cwt		4 cwt		Tiefe in englischen Faden	Beobachtetes Zeitintervall, Belastung 32pfünd. Kugel		zwei 32pfünd. Kugeln	
	Min.	Sek.	Min.	Sek.		Min.	Sek.	Min.	Sek.
von 500— 600	1	8	0	59	von 500— 600	2	39	1	52
„ 600— 700	1	13	1	2	„ 600— 700	2	49	2	3
„ 700— 800	1	18	1	6	„ 700— 800	2	58	2	6
„ 800— 900	1	23	1	10	„ 800— 900	3	13	2	14
„ 900—1000	1	28	1	14	„ 900—1000	3	24	2	22
„ 1000—1100	1	33	1	18	„ 1000—1100	3	31	2	29
„ 1100—1200	1	37	1	22	„ 1100—1200	3	45	2	36
„ 1200—1300	1	41	1	26	„ 1200—1300	3	45	2	41
„ 1300—1400	1	44	1	30	„ 1300—1400	3	57	2	54
„ 1400—1500	1	47	1	33	„ 1400—1500	4	7	2	56
„ 1500—1600	1	50	1	36	„ 1500—1600	4	13	3	4
„ 1600—1700	1	52	1	39	„ 1600—1700	4	20	3	6
„ 1700—1800	1	54	1	42	„ 1700—1800	4	26	3	8
„ 1800—1900	1	56	1	45	„ 1800—1900	4	31	3	15
„ 1900—2000	1	58	1	48	„ 1900—2000	4	39	3	16
„ 2000—2100	2	1	1	51	„ 2000—2100	4	47	3	21
„ 2100—2200	2	3	1	53	„ 2100—2200	4	48	3	25
„ 2200—2300	2	5	1	55	„ 2200—2300	4	54	3	31
„ 2300—2400	2	7	1	57	„ 2300—2400	5	13	3	32*)
„ 2400—2500	2	10	1	59	„ 2400—2500	5	1*)	3	45*)
„ 2500—2600	2	12	2	1	„ 2500—2600	4	56*)	3	43*)
„ 2600—2700	2	14	2	3	„ 2600—2700	5	27*)		
„ 2700—2800	2	16	2	5	„ 2700—2800	4	30*)		
„ 2800—2900	2	18	2	7	„ 2800—2900	4	44*)		
„ 2900—3000	2	20	2	9	„ 2900—3000	4	40*)		

*) Mittel aus nur 2 bis 3 Beobachtungen.

Aus der vorstehenden Tabelle ergeben sich folgende Fallgeschwindigkeiten:

Tiefe in englischen Faden	Leine I 25,4 mm Umfang — Belastung 3 cwt — Fallgeschwindigkeit pro Sekunde in engl. Faden	Leine I — 3 cwt — in Metern	Leine I — Belastung 4 cwt — Fallgeschwindigkeit pro Sekunde in engl. Faden	Leine I — 4 cwt — in Metern	Tiefe in englischen Faden	Leine III 5,6 mm Umfang — Belastung 32pfünd. Kugel — Fallgeschwindigkeit pro Sekunde in engl. Faden	Leine III — 32pfünd. Kugel — in Metern	Leine III — Belastung zwei 32pfünd. Kugeln — Fallgeschwindigkeit pro Sekunde in engl. Faden	Leine III — zwei 32pfünd. Kugeln — in Metern
von 500— 600	1,471	2,69	1,695	3,10	von 500— 600	0,629	1,15	0,893	1,63
„ 600— 700	1,370	2,51	1,613	2,95	„ 600— 700	0,592	1,08	0,813	1,48
„ 700— 800	1,282	2,34	1,515	2,77	„ 700— 800	0,562	1,02	0,794	1,45
„ 800— 900	1,205	2,20	1,429	2,61	„ 800— 900	0,518	0,95	0,746	1,37
„ 900—1000	1,136	2,07	1,351	2,47	„ 900—1000	0,490	0,90	0,704	1,28
„ 1000—1100	1,075	1,96	1,282	2,34	„ 1000—1100	0,474	0,86	0,674	1,23
„ 1100—1200	1,031	1,89	1,217	2,22	„ 1100—1200	0,444	0,81	0,641	1,17
„ 1200—1300	0,990	1,81	1,163	2,13	„ 1200—1300	0,444	0,81	0,621	1,13
„ 1300—1400	0,962	1,76	1,111	2,03	„ 1300—1400	0,422	0,77	0,575	1,06
„ 1400—1500	0,934	1,70	1,075	1,96	„ 1400—1500	0,405	0,75	0,568	1,04
„ 1500—1600	0,909	1,67	1,042	1,90	„ 1500—1600	0,395	0,73	0,544	0,99
„ 1600—1700	0,893	1,63	1,010	1,85	„ 1600—1700	0,385	0,71	0,538	0,98
„ 1700—1800	0,877	1,61	0,980	1,79	„ 1700—1800	0,376	0,70	0,532	0,97
„ 1800—1900	0,862	1,57	0,952	1,74	„ 1800—1900	0,362	0,66	0,513	0,93
„ 1900—2000	0,847	1,56	0,926	1,70	„ 1900—2000	0,358	0,66	0,510	0,93
„ 2000—2100	0,826	1,52	0,901	1,65	„ 2000—2100	0,348	0,64	0,497	0,92
„ 2100—2200	0,813	1,48	0,885	1,63	„ 2100—2200	0,348	0,64	0,488	0,90
„ 2200—2300	0,800	1,46	0,870	1,59	„ 2200—2300	0,340	0,62	0,474	0,86
„ 2300—2400	0,787	1,45	0,855	1,57	„ 2300—2400	0,320	0,59	0,471*)	0,86
„ 2400—2500	0,769	1,41	0,840	1,54	„ 2400—2500	0,332	0,60	0,444*)	0,81
„ 2500—2600	0,758	1,39	0,826	1,52	„ 2500—2600	0,338*)	0,62	0,448*)	0,82
„ 2600—2700	0,746	1,37	0,813	1,48	„ 2600—2700	0,306*)	0,57		
„ 2700—2800	0,735	1,35	0,800	1,46	„ 2700—2800	0,370*)	0,68		
„ 2800—2900	0,725	1,34	0,787	1,45	„ 2800—2900	0,352*)	0,64		
„ 2900—3000	0,714	1,30	0,775	1,43	„ 2900—3000	0,357*)	0,66		

Aus diesen Geschwindigkeiten lässt sich die Spannung herleiten, welche bei Verminderung der Fallgeschwindigkeit durch die nachgezogene Leine auf die letztere ausgeübt wird.

*) Mittel aus nur 2 bis 3 Beobachtungen.

Leine I 25,4 mm Umfang.

Die Fallgeschwindigkeit des Loths ohne Leine berechnet sich für das:

	Dreicentner Loth (in Seewasser 117 kg) pro Sekunde 8,04 m		Viercentner Loth (in Seewasser 156 kg) pro Sekunde 9,28 m	
Tiefe in Faden	Druck des Loths ($P = \frac{v^2}{2g} \zeta F \gamma$)*)	Spannung der Leine (117 kg — P)	Druck des Loths ($\zeta = 0{,}75 \gamma = 1030$ kg) ($F = 0{,}046$ qm)	Spannung der Leine (156 — P)
500	13,1 kg	103,9 kg	17,4 kg	138,6 kg
1000	7,0 „	110,0 „	9,9 „	146,1 „
1500	5,0 „	112 „	6,5 „	149,5 „
2000	4,2 „	112,8 „	4,9 „	151,1 „
2500	3,5 „	113,5 „	4,2 „	151,8 „

Auslaufgeschwindigkeit der unbeschwerten Leine 0,75 m.

Leine III 5,6 mm Umfang.

Die Fallgeschwindigkeit der Kugeln ohne Leine berechnet sich zu 5,0 m pro Sekunde (Gewicht im Seewasser 12,8 kg, $F = 0{,}0195$ qm).

	Eine Kugel		Zwei Kugeln	
Tiefe in Faden	Druck des Loths ($P = \frac{v^2}{2g} \zeta F \gamma$)*)	Spannung der Leine (12,8 — P)	Druck des Loths ($\zeta = 0{,}5 \gamma = 1030$ kg)	Spannung der Leine (25,6 — P)
500	0,68 kg	12,1 kg	1,36 kg	24,2 kg
1000	0,38 „	12,4 „	0,77 „	24,8 „
1500	0,27 „	12,5 „	0,50 „	25,1 „
2000	0,21 „	12,6 „	0,43 „	25,2 „

Auslaufgeschwindigkeit der unbeschwerten Leine 0,33 m.

§ 50. Lothdraht.

Die Hindernisse, welche genauen Lothungen auf grossen Tiefen entgegenstehen, entspringen zum grössten Theil aus dem schädlichen Einfluss des Widerstandes der Leine im Wasser, so dass die Erörterung derselben zugleich als Erörterung der Vortheile gelten kann, welche die Anwendung von Draht in Stelle von Leine bietet. Polirter Stahldraht von 2,4 mm Umfang bietet dem Wasser einen sehr geringen Widerstand **) und hat eine Tragkraft von über 100 kg. Der Verwendbarkeit von Draht

*) Es bezeichnet:
v die Geschwindigkeit pro Sekunde,
ζ den Widerstandskoëfficienten der Oberfläche des Loths,
F den Querschnitt des Loths,
γ das Gewicht eines Kubikmeters Seewasser.

**) An Bord der „Blake" wurden Versuche angestellt, bei welchen ein 2000 Faden (3660 m) langer Draht erst riss, als er mit 8,57 m Geschwindigkeit durch das Wasser gezogen wurde. (Dieser Draht schleppte noch ein Loth mit 8 Faden dünner Leine nach, deren gemeinsamer Widerstand im Wasser allein bei nahe gleicher Geschwindigkeit nach dem Dynamometer 22,5 kg betrug.) Es waren demnach etwa 9 qm Drahtoberfläche, auf welche das mit 4,4 m Geschwindigkeit entlang strömende Wasser nur etwa 90 kg Widerstand ausübte.

zum Lothen könnte das Bedenken entgegenstehen, dass sein bedeutendes specifisches Gewicht, welchem hier nicht wie bei der Leine bei zunehmender Länge eine vermehrte Reibung entgegen wirkt, eine zu grosse Auslaufgeschwindigkeit an und für sich verursacht, welche hinderlich ist für das Erkennen des Moments der Grundberührung des Loths. Dem kann aber dadurch abgeholfen werden, dass man die hier fehlende Reibung der Leine durch eine mit dem bekannten Gewicht des ausgelaufenen Drahts successive zu vermehrende Reibung der Trommel ersetzt. Der Bewegungsimpuls rührt dann fortdauernd allein her vom Gewicht des Loths und hört im Augenblick der Grundberührung auf. Alle anderen Bedenken beziehen sich auf die praktische Handhabung des Drahts und sind durch die im Jahre 1872 von Sir William Thomson angegebene Lothmaschine und die späteren Vervollkommnungen dieser Maschine zum grossen Theil beseitigt worden.

Als Lothdraht wird allgemein eine Sorte Draht angewendet, welche in England, Deutschland und Amerika nur unwesentlich verschieden ist. Der ursprünglich von Sir W. Thomson angegebene Draht von 0,76 mm Stärke steht in Stärke und Tragfähigkeit zwischen dem amerikanischen und deutschen und kann als normales Mittel beibehalten werden.*)

Handhabung des Drahts.

Die Schwierigkeiten bei der Handhabung des Drahts treten hauptsächlich hervor bei drei Punkten: 1) beim Splissen, 2) beim Schützen vor Rost, 3) beim Vermeiden von Kinken. Diese Schwierigkeiten sind nicht so vollkommen überwunden, dass die Tieflothleine durch den Draht bereits vollständig verdrängt worden wäre, sie bestehen aber für Fahrzeuge, welche besonders für Lothungszwecke ausgerüstet werden, nur noch in beschränktem Masse.

1. Das Splissen:

Der Draht wird in verschiedenen Längen geliefert, welche 600 m selten übersteigen. Häufig müssen viel kürzere Längen verwendet werden. Das Zusammenfügen derselben wird auf verschiedene Weise durch Verschlingung der Enden und Verlöthung bewirkt.

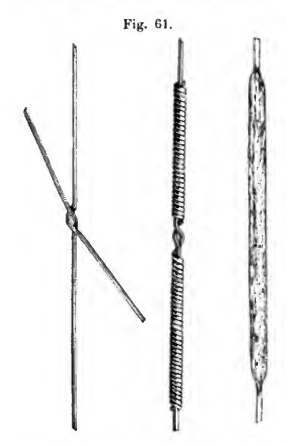
Das an Bord der Tuscarora angewendete Verfahren, welches sich auch sonst gut bewährt hat, ist im Wesentlichen von Sir W. Thomson angegeben und besteht in Folgendem: Die zusammenzusplissenden Enden werden etwa ³/₄ bis 1 m lang über einander gelegt und in langen Buchten fest um einander geschlungen, jede Bucht 2 bis 3 cm lang. Die Enden werden dann verlöthet und zwischen beiden Enden noch an mehreren Stellen die Buchten zusammengelöthet. Es ist Sorgfalt darauf zu ver-

---

*) Pianofortedraht (Birmingham gauge No. 22); Durchmesser 0.028 Zoll engl.; Bruchbelastung 200 bis 240 Pfd.; Länge der einzelnen Stücke 100 bis 400 Faden; derselbe wird in Rollen von 60 Pfd., in Wachspapier gewickelt, geliefert.

wenden, dass nirgends lose Buchten auf einander liegen, welche sich bei vergrösserter Spannung gegen einander verziehen könnten. Die verlöthete Splissung wird sodann ihrer ganzen Länge nach mit gewachstem Segelgarn recht dicht gekleidet. Sigsbee bespricht ein noch einfacheres Verfahren, dessen Abbildung (Fig. 61) dem Werke Sigsbees*) entnommen ist. Dieselbe ist nur 6 bis 8 cm lang und nur mit Löthung überzogen. Um die Festigkeit des Drahts nicht durch die Berührung mit dem heissen Löthkolben zu beschädigen, wird folgende Vorrichtung erwähnt: „In ein etwa sechs Zoll breites Brett ist eine Furche geschnitten, welche in der Mitte auf eine die Splissung etwas übersteigende Länge vertieft ist. Die Löthmasse wird auf diese Vertiefung gebracht und mit dem Löthkolben geschmolzen, so dass sie die Vertiefung flüssig ausfüllt. Dann wird der Draht in die Furche gelegt und die Splissung durch die Löthmasse hin und her gezogen. Schliesslich wird die erkaltete Löthung mit einem Messer geglättet.“ Die kurze Splissung hat für die Handhabung des Drahts entschiedene Vortheile, für ungeübte Hände ist die erste Methode der langen Splissungen vielleicht sicherer anzufertigen.

Fig. 61.



2. Das Aufbewahren des Drahts:

Obgleich der Draht, wenn er aus der Fabrik kommt, eine glatte fettige Oberfläche zeigt, rostet er doch an freier Luft, namentlich an Bord, sehr schnell und muss daher sehr sorgfältig vor solchen schädlichen Einflüssen bewahrt werden. Das Sicherste ist jedenfalls, den Draht in Talg verpackt oder in einem mit Oel gefüllten Gefäss aufzubewahren, wobei man sich nur überzeugen muss, dass die benutzten Fette keine Säuren enthalten. Die mannigfaltigen Unzuträglichkeiten, welche diese Aufbewahrungsart an Bord mit sich bringt, lässt indessen die Anwendung starker Alkalien empfehlenswerth erscheinen. Die Aufbewahrung in ungelöschtem Kalk oder Kalkwasser bei möglichstem Abschluss der Luft ist daher üblich. Diese Aufbewahrungsart hat nur das Bedenken, dass

*) Deep sea sounding and dredging etc. on board the coast and geodetic survey steamer Blake by C. D. Sigsbee, Washington 1880.

solche Alkalien die Löthungsstellen des Drahts angreifen und daher erfordern, dass den letzteren stets grosse Aufmerksamkeit zugewendet werde. Für die kleine Thomsonsche Lothmaschine für Navigationszwecke fällt dieser Uebelstand fort, da man für dieselbe eine einzelne Drahtlänge in Anwendung bringen kann.

3. Das Kinken des Drahts:

Kinke im Draht sind der Benutzung desselben stets am hinderlichsten gewesen. Um sie zu vermeiden, ist beim Auf- und Abrollen, überhaupt bei jeder Arbeit mit dem Draht, fortwährende Vorsicht nöthig. Draht von 100 kg Tragfähigkeit bricht in den Kinken leicht bei 25 kg und weniger Belastung. Im Allgemeinen muss die Regel niemals aus den Augen gelassen werden: den Draht stets steif zu halten, sowie er lose kommt, hat er die Neigung, Kinke zu bilden. Die Einrichtung der Lothmaschinen und das Verfahren beim Lothen nimmt in erster Linie Rücksicht auf die Vermeidung von Kinken, wie aus den späteren Beschreibungen hervorgehen wird.

§ 51. Einfache Lothe.

Als Loth ist ein schwerer Körper zu verwenden, dessen Form geringen Widerstand bietet und dessen specifisches Gewicht möglichst gross ist. Ein Bleigewicht von langgestreckter Form ist hierzu am geeignetsten und wird auch allgemein angewendet. Für Tiefen aber von über 2000 m muss man eine Einrichtung fordern, welche ein Auslösen des Gewichts beim Aufstossen auf den Grund herbeiführt. Ferner verlangt man bei allen Lothen, dass sie eine Grundprobe heraufbefördern, einmal, um dadurch die Grundberührung zu konstatiren, sodann um die Art des Meeresgrundes zu erkennen. Zahlreiche Konstruktionen sind zur Erfüllung dieser Forderungen in Anwendung gebracht. Eine Anzahl derselben wird hier erwähnt werden:

1. Die mit Leinen verwendeten Lothe für den Schiffsgebrauch auf geringe Tiefen sind kegelförmige Bleigewichte mit einer Höhlung im Boden. Diese Höhlung wird mit Talg ausgefüllt, an welches sich Theilchen des Meeresgrundes festsetzen und beim Anfholen des Loths an die Oberfläche befördert werden.

Die in der Kaiserlichen Marine in Anwendung kommenden Lothe dieser Art mit den dazu benutzten Leinen sind folgende:

Handloth	I.	6 kg		
„	II.	4,5 kg		
Handlothleine	I.	2 cm Umfang,	90 m	lang,
„	II.	2 cm „	50 m	„
Tiefloth	I.	30 kg		
„	II.	20 kg		
„	III.	12 kg		
Tieflothleine	I.	3 cm Umfang,	500 m	lang,
„	II.	3 cm „	225 m	„

Die hier zur Anwendung gebrachte Art, Grundproben zu erlangen, ist bei grösseren Tiefen nicht mehr anwendbar, weil während des Aufholens die am Talg haftende Probe zum grossen Theil wieder abgewaschen wird. Ferner erhält man nur durch Fetttheile verunreinigte Proben, welche für Aufbewahrung und wissenschaftliche Verwerthung ungeeignet sind. Man bedient sich daher bei den für die Tiefseeforschung bestimmten Lothen einer Kammer mit Ventil.

2. Das Bleiloth mit Kammer wird für die Tiefen bis zu 2500 m (oder 1500 Faden) bei allen Lothungen benutzt, bei welchen Leinen zur Anwendung kommen. Die Einrichtung desselben ist folgende:

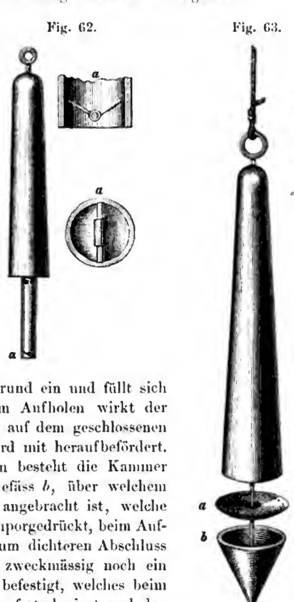


Fig. 62. Fig. 63.

In das Bleiloth von gewöhnlicher Form ist eine Eisenstange eingeschlossen, an welche eine Kammer zur Aufnahme der Grundprobe angeschraubt ist. Dieselbe besteht in einfachster Form aus einem etwa 8 cm langen eisernen Hohlcylinder, dessen untere Oeffnung von einem Doppelflügelventil *a* (Schmetterlingsventil) geschlossen ist, während oben unter dem Schraubengewinde sich mehrere Löcher befinden (Fig. 62). Beim Niederlassen des Loths hält der Wasserdruck das Ventil offen, beim Grundberühren bohrt sich das Rohr in den Grund ein und füllt sich mit Bodenbestandtheilen, beim Aufholen wirkt der Wasserdruck von oben und die auf dem geschlossenen Ventil ruhende Grundprobe wird mit heraufbefördert.

Bei einem anderen System besteht die Kammer aus einem trichterförmigen Gefäss *b*, über welchem eine Lederscheibe *a* (Fig. 63) angebracht ist, welche beim Niedergehen des Loths emporgedrückt, beim Aufholen niedergedrückt wird. Zum dichteren Abschluss wird über der Lederscheibe zweckmässig noch ein Stück leichtes Zeug (Musselin) befestigt, welches beim Aufholen sich um die Kammer festschmiegt und den Verschluss noch sicherer abdichtet.

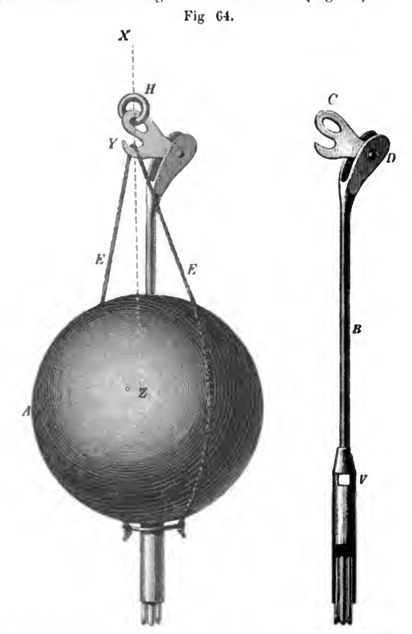
Die erstere Form ist bei den Lothungen des Challenger und der Gazelle angewendet, die letztere, bei den amerikanischen Lothungen

in Gebrauch (Stellwagen specimen cup), ist im Wesentlichen schon von Sir John Ross angegeben. Bei Anwendung von Leine sind solche Bleigewichte bis zu einem Gewicht von 70 kg und 1500 Faden Tiefe, in Verbindung mit Draht solche von 15 kg bis 1000 Faden in Gebrauch.

§ 52. Lothe mit Auslösevorrichtungen.

Das älteste Loth dieser Art, welches als ursprüngliches Vorbild aller späteren Konstruktionen angesehen werden kann, ist das Brooksche Tiefloth, welches in seiner verbesserten Konstruktion in der officiellen amerikanischen Instruktion wie folgt beschrieben wird (Fig. 64):

Fig 64.



„*A* ist eine Kugel mit einer Durchbohrung und kleinen Furchen zum Einlegen der Schlingen *E*. *B* ist eine Stange an welcher ein Arm *C* an-

gebracht ist, welcher sich um den Bolzen *D* bewegt. Von diesem ist die Kugel in den Schlingen *E* aufgehängt. Das untere Ende des Stabes ist hohl und nimmt ein Bündel Gänseposen auf, welche an beiden Enden offen und unten schief geschnitten sind. Sie werden durch ihre Elasticität in der Röhre festgehalten. *V* ist ein Ventil von dünnem Leder, welches sich nach aussen öffnet und dem beim Niederlassen durch die Posen eintretenden Wasser den Ausgang gestattet. Beim Aufholen schliesst sich dieses Ventil und erhält die Grundprobe intakt.

„Die Verhältnisse des Instruments sind so gewählt, dass, wenn die Kugel am Arm *C* aufgehängt ist, der Angriffspunkt der Leine in *X*, der Aufhängepunkt *Y* und der Widerstandsmittelpunkt in *Z*, alle drei in einer vertikalen Linie, liegen. Das Gewicht giebt dann dem Arm *CY* eine leichte Neigung, welche mit der Spannung der Leine im Wasser ein vorzeitiges Auslösen verhindert.

„Es ist klar, dass die Empfindlichkeit der Auslösevorrichtung von der relativen Lage der drei Punkte abhängt, denn der Arm *C* kann als ein doppelarmiger Hebel betrachtet werden mit seinem Drehpunkt in *D*, an welchem auf der einen Seite das Gewicht der Kugel, an der andern die Spannung der Leine wirkt. Je weiter *H* von *D* entfernt ist, desto weniger empfindlich wird also die Auslösevorrichtung. Damit die Aenderung der Stellung von *C* das Abgleiten der Schlinge im Moment des Auslösens nicht stört, ist die Oeffnung für den Ring *H* so ausgeschnitten, dass der letztere nach *D* hin zurückfällt, sobald der Arm sich neigt."

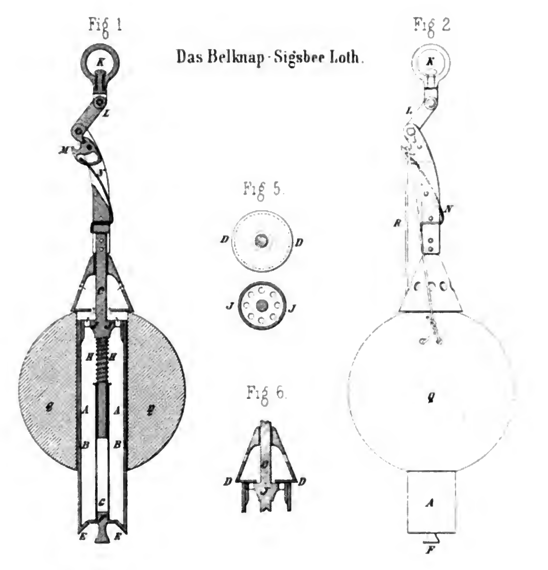
Die mannigfachen anderweitigen Auslösevorrichtungen sind aus der Erkenntniss hervorgegangen, dass die eben beschriebene für viele Zwecke zu empfindlich ist. Seit Erfindung des Brookschen Apparats ist durch die Einführung mehrere Centner schwerer Lothe mit stärkeren Leinen oder leichterer Gewichte in Verbindung mit Draht eine geringere Empfindlichkeit erwünscht. Die Auslösevorrichtung, welche für Lothungen mit Draht an Bord der Blake sich bewährt hat, ist von dem Commander Sigsbee an einem Loth angebracht, welches in seiner Einrichtung zum Aufholen von Grundproben im Wesentlichen an Bord der Tuscarora bei den Lothungen im Stillen Ocean unter Commander Belknap bereits angewendet war.

§ 53. Beschreibung des Belknap-Sigsbee Loths.*) (Tafel I.)

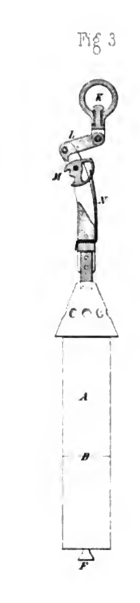
In dem Cylinder *A* (mit einem Schraubengewinde bei *B*) ist ein Gussstück eingesetzt, bestehend aus der Führungsstange *CC* und der mit Löchern versehenen Platte *JJ*, welche mit *C* zu einem Stück verbunden ist. Unten am Cylinder *A* befindet sich das Ventillager *EE*, auf welchem

*) Die hierzu gehörige Figurentafel ist eine Wiedergabe der Zeichnung in Sigsbees „Deep sea sounding and dredging", plate 39.

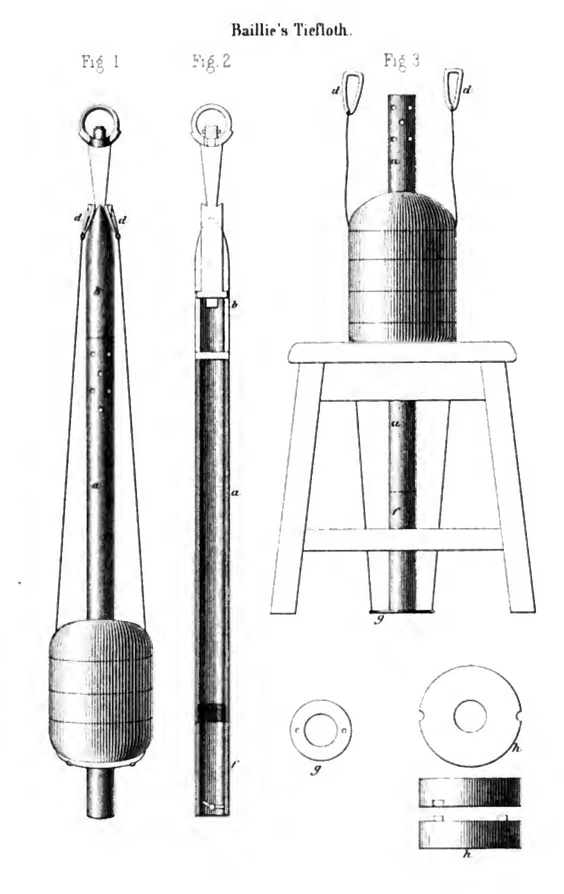
Das Belknap-Sigsbee Loth.







Seite 126


Baillie's Tiefloth.
Fig 1
Fig. 2
Fig 3
d
d
b
a
f
g
h

das Puppenventil *F* ruht. Dasselbe ist befestigt in der Röhre *G*, welche lose an der Führungsstange *C* gleitet und von einer schwachen Spiralfeder *HH* niedergehalten wird. Ueber dem Cylinder *A* befindet sich um den oberen Theil der Führungsstange, auf und nieder beweglich, der durchlöcherte Hohlkegel (Fig. 6), an welchem als Boden ein glatter flacher Ring *DD* angegossen ist. Wenn der Hohlkegel auf dem Cylinder ruht, verschliesst die Platte *D* die oberen Oeffnungen desselben. Die Auslösevorrichtung besteht aus dem Ring mit Wirbel *K*, dem Pallhebel *L*, dem Schlipper *M* und der Feder aus Messingdraht *N*.

Alle Theile der Führungsstange und des Auslösers sind aus Messing.

In Verbindung mit diesem Lothapparat wird ein eiserner kugelförmiger Sinker *Q* gebraucht, der mit einer Aufhängeschlinge aus Eisendraht *R* versehen ist.

Der Apparat funktionirt in folgender Weise: Während des Hinablassens (Fig. 1 und 2) bleibt der Hohlkegel durch die Kugel in die Höhe gehoben. Beim Berühren des Grundes hebt sich zunächst das Ventil *F*, so dass, während das Wasser oben austritt, unten Grundbestandtheile eindringen können. Der lose nachlaufende Draht erlaubt dem Hebel *L*, sich unter dem Druck der Last, welche auf dem Schlipper *M* ruht, abwärts zu drehen, und die Pallvorrichtung schlippt aus. Die Drahtschlinge *R* kann nicht über die Auslösevorrichtung fallen, weil der Hohlkegel die Kugel verhindert, weiter in die Höhe zu kommen, selbst wenn der Apparat tiefer in den Grund eindringt. Die Feder *N* aber drückt den Schlipper *M* (Fig. 3) zurück, so dass ein Eingreifen der Auslösevorrichtung beim Aufholen ausgeschlossen wird.

Beim Aufholen des Cylinders ist das Puppenventil durch die Feder *H* wieder niedergedrückt und ein Auswaschen von oben durch den Verschluss *DD* (Fig. 6) verhindert.

Nach dem Aufholen wird der untere Theil des Cylinders bei *B* abgeschraubt und die Grundprobe herausgenommen.

§ 54. Das Tiefloth von Bailie. (Tafel II.)

Bei der Anwendung von Leinen hat sich unter allen Auslösevorrichtungen diejenige von Bailie am besten bewährt. Dieselbe ist an Bord des Challenger und der Gazelle fast allein benutzt worden und soll daher im Folgenden unter Uebergehung ähnlicher Konstruktionen beschrieben werden.

Der Lothcylinder besteht aus einer eisernen Röhre *a* von 0,65 cm Durchmesser und etwa 1,2 m Länge, an deren oberem Ende ein messingener Hohlkegel *b* aufgeschraubt ist. In diesem Kegel gleitet eine vierkantige Eisenstange mit zwei gegenüberstehenden Nasen zur Aufnahme der Oesen der Drahtschlinge *d*. Ein drehbarer Ring am oberen Ende dient zur Befestigung der Lothleine. Im unteren abschraubbaren Theile *f* der eisernen

Röhre sitzt ein Doppelflügelventil, welches sich beim Herunterlassen des Lothes öffnet; dem eindringenden Wasser wird durch Löcher im oberen Theile von *a* der Austritt gestattet. Beim Aufstossen des Loths auf den Meeresboden können nun Bodenbestandtheile durch das geöffnete Ventil eindringen, und sobald das Loth aufgeholt wird, schliesst sich das Ventil.

Die Drahtschlinge besteht aus zwei starken Eisendrähten, die von einem Ringe *g* auslaufen und an ihren Enden mit Oesen versehen sind. Die gusseisernen, etwa 38 kg schweren Gewichte *h* haben in der Mitte ein Loch, durch welches das Loth gesteckt wird, und ausserdem an zwei diametral gegenüber liegenden Stellen des Randes Vertiefungen, in welche sich der Draht der Drahtschlinge legt und dadurch vor dem Abgleiten bewahrt wird. Je nach der Wassertiefe, die man bei der Lothung voraussetzt, werden zwei oder mehr dieser Gewichte übereinander gelegt. Mit Ausnahme des zu unterst und des zu oberst zu legenden Gewichts, welche, des zu verringernden Widerstandes des Wassers wegen, eine kalottenähnliche Form haben, sind alle übrigen cylindrisch.

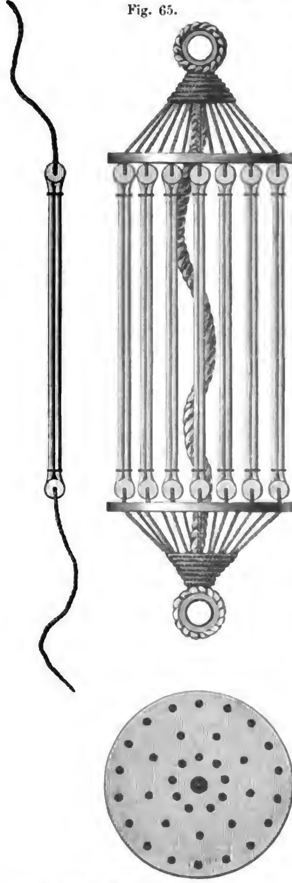
Soll mit dem Apparat gelothet werden, so wird der Ring mit den beiden Drähten auf eine Art runden Holzschemels (Taf. II Fig. 3) über ein in der Mitte desselben befindliches Loch zur Aufnahme des Lothes gelegt. Auf den Ring wird alsdann die erforderliche Anzahl von Gewichten so übereinander geschichtet, dass ihre Einschnitte sich über den beiden Drähten befinden. Hierauf wird das Loth durch die Oeffnungen der Gewichte, des Ringes der Drahtschlinge und des Schemels gesteckt und die durch einen Block geschorene Lothleine in dem drehbaren Ringe am Kopfe des Lothes befestigt. Nun hält man die Oesen der Drahtschlinge an den oberen Einschnitt des erwähnten messingenen Hohlkegels und lässt die Lothleine langsam steif holen. Hierdurch wird die Eisenstange aus dem Hohlkegel herausgezogen, ihre Nasen treten in die Oesen der Drahtschlinge ein und tragen dann letztere nebst den Gewichten.

Sowie das Loth auf den Grund stösst, sinkt, da lose Leine nachläuft, die Eisenstange vermöge der an ihr hängenden Gewichte in den messingenen Hohlkegel, die Oesen der Drahtschlinge werden von den Nasen abgestreift und das Loth von seiner Belastung befreit.

Beim Heraufwinden des Loths bleiben die Gewichte, mit denen das Loth belastet war, sowie die Drahtschlinge auf dem Meeresgrunde liegen, und nur das leichte Loth mit der Grundprobe wird an die Oberfläche gebracht. Die Grundprobe lässt sich nach Abschrauben des unteren Theils der Lothröhre bequem herausnehmen.

§ 55. Das Lothen in grossen Tiefen mit der Leine.

Die für Tieflothungen bestimmten Leinen werden auf grossen Rollen, welche 4000 Faden Leine aufnehmen können, aufbewahrt. Die Leinen


Fig. 65.

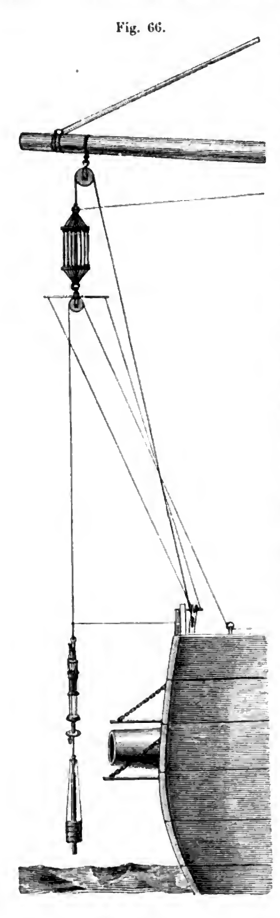
werden von 25 zu 25 Faden (oder 50 zu 50 m) markirt, und zwar bestehen diese Marken aus Takelungen um die einzelnen Kardele, damit keine vermehrte Reibung oder Gefahr entsteht, dass Marken sich zwischen die Scheiben der Blöcke klemmen.

Beim Lothen läuft die Leine frei von der Rolle ab. Die Axe der Rolle darf daher nur mit geringer Reibung in den Lagern laufen, andererseits muss die Rolle mit einer Bremsvorrichtung versehen sein, um ein Unklarwerden der Leine zu verhindern, wenn die Trommel sich schneller dreht, als die Leine ausläuft.

Wenn das Lothen mittschiffs vorgenommen wird, so sind die Zurichtungen dazu folgende:

An einem Block unter der Grossraa ist ein Akkumulator aufgehängt. Derselbe dient dazu, ruckweise Stösse und Spannungen abzuschwächen, welche namentlich durch Schlingern des Schiffs auf die Leine ausgeübt werden können. Der Akkumulator besteht aus einer Anzahl doppelter Kautschukbänder, welche zwischen zwei runden Holzscheiben eingeschaltet sind (Fig. 65).

Die Gummibänder, welche auf dem Challenger und der Gazelle als Akkumulatoren verwendet wurden, waren von cylindrischer Form von 2 cm Durchmesser und 0,9 m Länge. Diese Bänder lassen sich bis


Fig. 66.

auf 5,5 m Länge ausrecken, wobei jedes eine Spannung von 32 kg ausübt. Bei einer Ausdehnung auf 2,75 m beträgt die Spannung 23 kg. Damit keine Streckung über 5,5 m eintreten kann, ist ein 10 cm starkes, 4,5 m langes Tau in der Mitte angebracht, welches beide Holzscheiben mit einander verbindet. Zwanzig Paar Gummibänder wurden in der Regel zu einem Akkumulator vereinigt.

An dem Akkumulator hängt der Lothblock, ein 23 cm Patentblock, dessen Scheibe keinen Spielraum im Gehäuse haben darf, damit sich die Leine nicht bekneifen kann. An diesem Block wird eine kleine Raa mit zwei Brassen angebracht, um ein Drehen des Blockes verhindern zu können. Die Lothleine wird durch diesen Block geschoren und dann an dem, wie vorher beschrieben, vorbereiteten Loth festgesteckt. Für je 1000 Faden der zu erwartenden Wassertiefe wurde ein Centner Lothgewicht als Norm angenommen, so dass also das Gesammtgewicht zwischen 2 und 4 Centner variirt.

Ueber dem Loth wird ein Wasserschöpfapparat an der Leine befestigt und über diesem ein oder zwei Tiefseethermometer. Die Fig. 66 zeigt das Loth mit Zubehör und Leine (welche noch einen Beiholer erhalten hat) klar zum Fallen im Akkumulator über Bord gehängt. An Bord des Challenger wurde das Loth mit der rückwärtsgehenden Aufwindemaschine bis 500 Faden eingefiert und dann frei fallen gelassen, an Bord der Gazelle war die Aufwindemaschine nicht dazu eingerichtet. Das Loth wurde hier etwa

100 m tief mittelst der Lothleinrolle hinabgefiert und fiel dann frei unter Anwendung einiger Friktion auf die Scheiben der Lothrolle, mit welcher allmählich nachgelassen wurde, ohne dass ein Auslösen der Lothgewichte dabei vorgekommen wäre.

Während des Fallens wird genau die Zeit notirt, in welcher je 100 Faden auslaufen. Das plötzlich verlangsamte Auslaufen zeigt die Grundberührung an. Während der ganzen Dauer muss das Schiff so unter Dampf gehalten werden, dass die Leine auf und nieder zeigt.

Hat das Loth den Grund berührt, so lässt man das Schiff abtreiben, um an der Leine ein Boot zur Vornahme von Strommessungen zu verankern. Nach Beendigung dieser Messungen nimmt das Schiff seine Position vertikal über dem Loth wieder ein. Die Leine wird dann um die Trommel der Aufwindemaschine gelegt und zuerst langsam, dann schneller eingehievt, wobei berücksichtigt werden muss, was über die Spannung der Leine bei schneller Bewegung durch das Wasser gesagt worden ist.

Sollte sich an der starken Streckung der Akkumulatoren zeigen, dass die Gewichte sich nicht abgestreift haben, so wird die ein wenig eingewundene Leine noch einmal laufen gelassen, wobei dann in der Regel die Auslösung erfolgt.

§ 56. Die Drahtlothmaschine.

Für das Lothen mit Draht hat Sir William Thomson eine Maschine angegeben, welche seit dem Jahre 1872 mit mannigfachen kleinen Aenderungen versehen ist, im Grunde aber dieselbe Anordnung behalten hat.

Die folgende Beschreibung bezieht sich auf eine nach amerikanischen Zeichnungen von Bamberg in Berlin gebaute Maschine.

Auf einer Metalltrommel von 1,85 m Umfang ist zwischen 8 cm von einander abstehenden, 5 cm hohen Rändern der Lothdraht aufgewickelt. Diese Trommel läuft mit einer stählernen Welle in Lagern, welche auf einem quer von der Bordwand zwei Meter weit hinausragenden Gerüst so angebracht sind, dass der Draht mit dem Lothgewicht frei von der Schiffsseite, senkrecht von der Trommel ablaufen kann. Zum Hinablassen und Aufwinden des Drahts sind folgende Einrichtungen getroffen. Um das Hinablassen zu reguliren, ist in einer zweiten Rille der Trommel ein Bremstau ohne Ende eingelegt, bestehend aus ungetheerter Neungarnleine. Diese Leine führt durch einen kleinen Block, und an diesem Block hängt das Bremsgewicht, welches von 5 zu 5 kg verändert werden kann.

Die Bremsleine läuft mit einem Schlage um das Rad eines Dynamometers. Dieses Dynamometer ist ein wichtiger Theil des Apparats, da durch den Ausschlag seines Zeigers auf sichere Weise zu erkennen ist, wann das Loth den Grund berührt. Sir William Thomson bemerkt hierzu: „Die Kunst des Tiefseelothens besteht darin, einen solchen Widerstand an der Trommel anzubringen, welcher die Trommel sicher zum Stillstehen

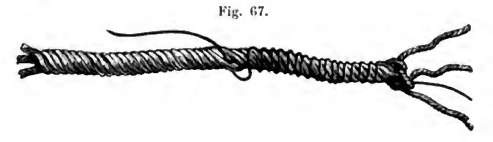
bringt, sobald das Loth den Boden erreicht. Hierzu ist grosse Leichtigkeit des Rades erforderlich.

„Ein bestimmter Widerstand ist systematisch mit der Trommel in Verbindung zu bringen. Derselbe muss immer das Gewicht des ausgelaufenen Drahts übersteigen. In der Praxis ist als Regel angenommen, dass das Bremsgewicht immer das Gewicht des ausgelaufenen Drahts um 10 Pfund übersteigt. Wenn das Lothgewicht also z. B. 34 Pfund beträgt, bleiben dann noch 24 Pfund bewegende Kraft. Man beobachtet das Zählwerk und legt für jede 250 Umdrehungen drei Pfund zu dem Bremsgewicht zu. Dies macht 12 Pfund für je 1000 Faden des ausgelaufenen Drahts (1000 Faden Draht wiegen ungefähr 12 Pfund im Wasser). Auf diese Weise wird erreicht, dass, wenn das 34 Pfund-Gewicht, welches mit 24 Pfund an der Trommel wirkt, den Grund berührt und auslöst, gegen die Weiterbewegung der Trommel nun ein Gegendruck von 10 Pfund in Kraft tritt. Noch eine leichte Bewegung der Trommel — höchstens eine Umdrehung — und die Bewegung hört auf."

In der Praxis ist für diese Regel das Dynamometer nicht genau genug und schwankt wegen der Bewegung des Schiffes fortwährend in seinen Angaben. Ferner ist es nöthig, dass der Draht zunächst ganz langsam ausläuft, damit die Erschütterungen beim Schlingern des Schiffes, welche im Verhältniss zur Spannung offenbar zuerst am bedeutendsten sind, nicht ein Auslösen des Gewichts zur Folge haben. Sind einige Hundert Faden ausgelaufen, so kann man noch Gewichte abnehmen, da die Auslaufgeschwindigkeit jetzt sehr gross genommen werden kann und der verlangsamende Einfluss der Reibung des Drahts im Wasser immerhin merklich wird. Lange vor der Grundberührung müssen die Gewichte aber so regulirt sein, dass die bewegende Kraft (der Druck des ablaufenden Loths) auf die Trommel geringer ist, als das Auslösegewicht. Soll der Draht aufgewunden werden, so wird das Bremstau ausgelegt, das Dynamometerrad abgenommen und eine straffgespannte Leine ohne Ende, die durch Blöcke ganz das Deck entlang geführt werden kann, zum Einholen mit der Hand benutzt.

Die weiteren Vorbereitungen für das Lothen sind folgende: Zwischen Draht und Loth ist ein 50 m langer Vorlauf von ungetheerter 14 Garn-

Fig. 67.



Leine eingeschaltet, damit der Draht nicht auf den Grund kommen und unklar werden kann. Damit dieser Vorlauf auch bei der Grundberührung

klar vom Loth fällt, ist ausserdem noch eine 2 m lange dünne Eisenstange an dem Ende unmittelbar über dem Loth festgebunden. Ausserdem ist der Lothdraht da, wo er mit dem Vorlauf verbunden ist,*) mit einem Bleigewicht beschwert. Es folgen also aufeinander von oben nach unten: Draht, Knoten, Bleigewichte, Vorlauf, Eisenstange, Lothcylinder mit Drahtschlinge und eingehängter (25 kg) Lothkugel. Wird ein Tiefseethermometer mit hinuntergelassen, so wird dasselbe unter dem Knoten an der Leine befestigt.

Das Loth wird an dem Vorlauf hängend über Bord gesetzt und langsam hinunter gefiert. Das Bremsgewicht ist so beschwert, das die Trommel durch einen leichten Druck gehemmt werden kann. Ein Mann ist am Bremsgewicht stationirt, ein zweiter aussen zum Beobachten des auslaufenden Drahtes. Ein dritter beobachtet den Dynamometer und das Zählwerk und notirt die Zeit bei je 100 Umdrehungen. Ist alles vorbereitet, so lässt man den Draht auslaufen, indem man das Bremsgewicht vermindert und zwar so lange, bis 90 bis 100 Umdrehungen in der Minute erreicht sind. Die weitere Regulirung der Gewichte erfolgt dann möglichst nach den oben mitgetheilten Regeln.

Während des Auslaufens muss die Bremsleine in der Rille der Drahttrommel häufig mit frischem Wasser begossen werden.

Erreicht das Loth den Grund, so schlägt der Zeiger plötzlich aus und die Maschine stoppt, vorausgesetzt dass die Bremsgewichte so regulirt sind, dass die bewegende Kraft geringer ist als der Zug, welchen das Loth ausübt (aber gross genug, um den Draht beim Arbeiten des Schiffes unter nahe konstanter Spannung zu halten).

Mit Hülfe der Bremsleine wird nun der Draht einige Fäden aufgewunden; erkennt man dabei, dass das Gewicht noch nicht ausgelöst ist, so muss noch einmal zurückgedrebt werden. Ist das Gewicht ausgelöst, so wird die Bremsleine ausgeworfen und die Einholleine geschoren. Beim Einwinden wird der Draht durch einen Segeltuchlappen geleitet, welcher aus einem mit Soda und Höllensteinlösung (caustic soda) gefüllten Gefäss stets neu befeuchtet wird. In der Zeit zwischen Auslaufen und Einholen ist der noch auf der Trommel zurückgebliebene Draht, soweit er blossgelegt ist, zu reinigen und zu ölen.

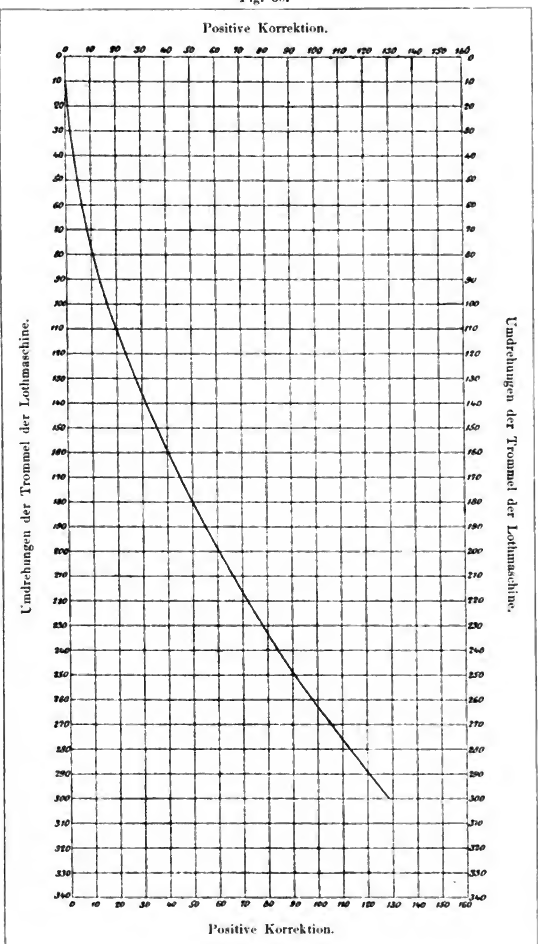
§ 57. Die Ermittelung der Tiefe.

Aus der Zahl der Umdrehungen lässt sich die Tiefe nicht direkt finden, da sich der Umfang mit der Zahl der Umdrehungen verringert.

Ein ungefähres Mass erhält man, wenn man den Umfang der Trommel

*) Die Verbindung von Leine und Draht wird nach Sigsbee am besten in der in Fig. 67 dargestellten Weise ausgeführt. Der Draht wird in einen Knoten eingelegt und dann um die Leine fest umgewickelt und wiederholt zwischen die Garne derselben versteckt.

Fig. 68.


Positive Korrektion.
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160
Umdrehungen der Trommel der Lothmaschine.
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340
Positive Korrektion.

Ablesung der Zählwerke		II—I	Bemerkungen (Angabe der Drahtlängen)
I. Trommel der Lothmaschine	II. Eingeschaltete Zähltrommel	Positive Korrektion	
100	100	0	Splissung bei
200	$200\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	159 Umdrehungen Kol. I
300	$301\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	
400	400	3	334
500	$504\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{2}$	
600	$606\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{4}$	$550\frac{1}{4}$
700	$708\frac{1}{4}$	$8\frac{1}{4}$	
800	$810\frac{3}{4}$	$10\frac{3}{4}$	u. s. f.
900	$913\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	
1000	$1016\frac{3}{4}$	$16\frac{3}{4}$	
1100	1120	20	
1200	$1223\frac{3}{4}$	$23\frac{3}{4}$	
1300	$1327\frac{3}{4}$	$27\frac{3}{4}$	
1400	1432	32	
1500	$1536\frac{1}{4}$	$36\frac{1}{4}$	
1600	1741	41	
1700	$1745\frac{1}{2}$	$45\frac{1}{2}$	
1800	$1850\frac{1}{4}$	$50\frac{1}{4}$	
1900	$1955\frac{1}{4}$	$55\frac{1}{4}$	
2000	$2060\frac{1}{2}$	$60\frac{1}{2}$	
2100	$2165\frac{3}{4}$	$65\frac{3}{4}$	
2200	$2271\frac{1}{2}$	$71\frac{1}{2}$	
2300	$2377\frac{1}{2}$	$77\frac{1}{2}$	
2400	2484	84	
2500	2591	91	
2600	$2698\frac{1}{4}$	$98\frac{1}{4}$	
2700	$2805\frac{3}{4}$	$105\frac{3}{4}$	
2800	$2913\frac{1}{2}$	$113\frac{1}{2}$	
2900	$3021\frac{1}{4}$	$121\frac{1}{4}$	
3000	$3129\frac{1}{2}$	$129\frac{1}{2}$	
3100			
3200			
3300			
3400			

Beispiel:

Auf der Trommel sind im Ganzen aufgewickelt:
2750 Faden. Korrektion: 110

Ausgelaufen sind nach dem Umdrehungszähler:
1905 Faden. Also bleiben auf der
Trommel 845 Faden. Korrektion: 12

Differenz: 98
Ablesung: 1905

Länge des ausgelaufenen Drahts: 2003 Faden.

(Aus Sigsbees „Deep sea sounding and dredging“, Plate 41.)

Bericht. Die Umdrehungszahlen der Fig. 68 sind mit 10 zu multipliciren.

misst, nachdem eine bekannte Anzahl Umdrehungen aufgerollt ist, und mit dem bekannten Umfang der leeren Trommel vergleicht. Hieraus lässt sich der mittlere Umfang für je 100 Umdrehungen annähernd interpoliren.

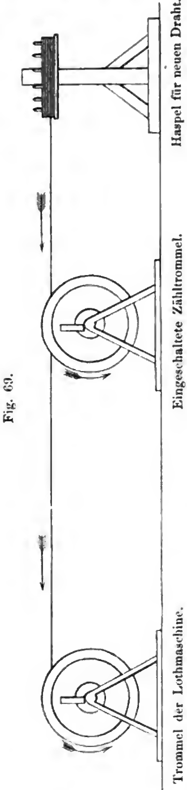


Fig. 69.

Ein genaueres Resultat erreicht man durch direkte Messung, indem man beim Aufwickeln des Drahts auf die Trommel den Draht mit einigen Umgängen über eine ebenfalls genau einen Faden im Umfang messende Trommel gehen lässt. Diese eingeschaltete Trommel hat ebenfalls einen Umdrehungszähler, welcher nun genau die Anzahl der aufgewickelten Faden für die gleichzeitige Ablesung der auf der Arbeitsrolle aufgewickelten Umgänge Draht angiebt (siehe Fig. 69).

Aus diesen Angaben lässt sich eine Korrektionstabelle und Kurve (Fig. 68) entwerfen, welche gestattet, aus der Zahl der ausgelaufenen Umdrehungen die Tiefe zu ermitteln. Das umstehende Beispiel hierfür ist ebenfalls dem Werke Sigsbees entnommen.

Die einmal entworfene Tabelle gilt für alle Drahttrommeln von denselben Dimensionen*) für den gleichen Draht. Beim Einwinden des Drahts nach der Lothung kommt der Zeiger des Zählwerks wieder auf die Nullangabe zurück, selten mit einer geringen Abweichung.

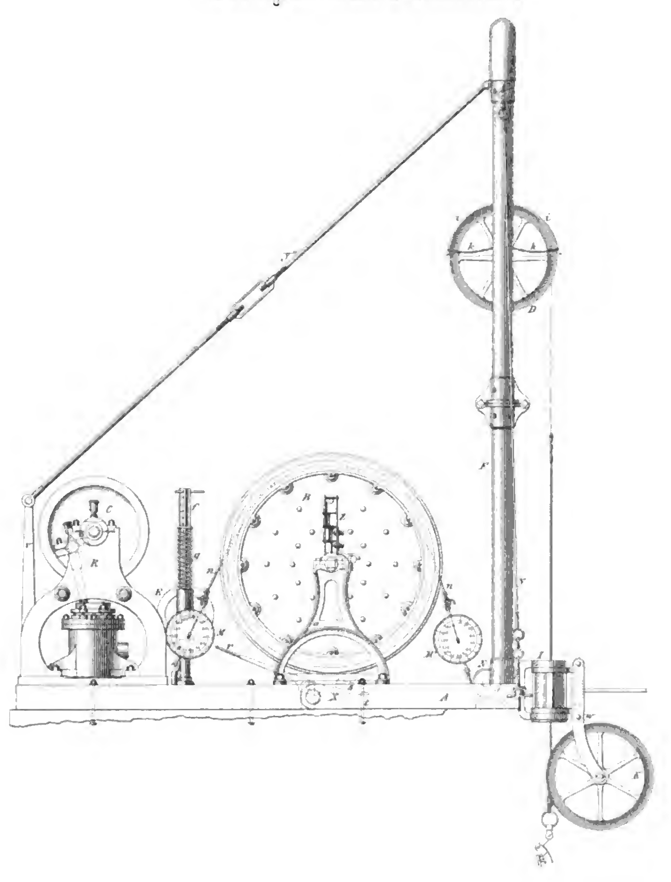
Die gelothete Tiefe erhält man also aus folgendem Exempel:

> Abgelesene Umdrehungszahl + Korrektion aus der zur Trommel gehörigen Kurve oder Tabelle + Vorlauf — Höhe der Trommel über dem Wasserspiegel.

Bei der Einrichtung der Thomsonschen Maschine fällt die Abwesenheit einer Akkumulatorvorrichtung auf, welche durch die Einschaltung eines Dynamometers nicht entbehrlich gemacht ist. Diesen Theil hat Sigsbee dem Instrument hinzugefügt, indem er die Maschine in der auf Tafel III, IV, V ersichtlichen Weise zusammenstellte.

*) Das hier gegebene Beispiel gilt also für alle Drahttrommeln von einem Faden Umfang.

Die von Sigsbee verbefserte Tieflothmaschine.



§ 58. Die von Sigsbee verbesserte Lothmaschine.

(Tafel III, IV, V.)

Die folgende Beschreibung der Sigsbeeschen Lothmaschine bezieht sich auf eine solche, welche im Jahre 1881 für die Kaiserliche Marine angefertigt worden ist.

Die Maschine besteht aus folgenden Haupttheilen:

1. der Drahttrommel;
2. der Einwinde-Maschine;
3. den Akkumulatoren;
4. der Bremsvorrichtung.

Fast alle zur Maschine gehörigen Theile sind aus Stahl gefertigt.

1. Auf einer Platte *A* sind die Blöcke für die Trommel sowie die übrigen Maschinentheile mittelst Bolzen und Schrauben befestigt. Die zur Aufnahme des etwa 7 bis 8 km langen Lothungsdrahtes dienende Trommel *B* ist aus Stahl gefertigt und aus mehreren Stücken derartig zusammengesetzt, dass sie bei möglichst geringem Gewicht eine sehr grosse Widerstandsfähigkeit besitzt. An der Trommel ist ein Ring *P* (Taf. IV) mit v-förmiger Rinne angeschraubt, welcher zur Aufnahme der Friktionsleine dient. Die Axe *b* der Trommel ruht in den beiden Böcken und hat an der einen Seite ein Schraubengewinde, welches mit dem am Bock befestigten, um ein Scharnier drehbaren Registrirapparat *Z* (Taf. III) verbunden wird. Der letztere giebt die Zahl der Trommelumdrehungen an, aus welchen mittelst der Korrektionstabelle in oben erläuterter Weise die wirklich abgelaufene Länge des Drahtes gefunden werden kann. An der andern Seite der Trommel befindet sich auf der Axe ein Sperrrad *c* mit Klinke *d* (Taf. V) am Bock, welche, wenn niedergelegt, nur die Drehung der Trommel nach einer Seite gestattet. Auf beide Enden der Trommelaxe lassen sich Kurbeln für den Handgebrauch aufsetzen.

2. Die Einwindevorrichtung (Taf. V) besteht in einer eincylindrigen Dampfmaschine *R*, deren nähere Beschreibung hier füglich übergangen werden kann. Der Kolben dreht eine Axe, auf welcher das Rad *C* befestigt ist. Das Rad hat eine v-förmige Rinne zur Aufnahme des Leitriemens *o*, welcher um dies Rad und den Ring *P* der Trommel (nach Auswerfen der Friktionsleinen) gelegt wird. Um dem Riemen die erforderliche Spannung zu geben, wird derselbe unter dem Rade *E* hinweggeführt. Das Rad *E* ist mit einer Buchse verbunden, welche auf einen um seine Axe drehbaren Ständer *f* aufgestreift ist. Mittelst einer verstellbaren Spiralfeder *g*, welche die Buchse niederdrückt, wird der Druck auf den Riemen regulirt.

3. Die Akkumulatoren (Taf. IV). Der Lothungsdraht läuft nicht direkt von der Trommel in die Tiefe hinab, sondern über das mit einer Rinne versehene Rad *D*, welches genau $1/2$ Faden Umfang, in der Rinne gemessen, hat. Die Axenlager dieses Rades befinden sich in dem Rahmen *U*, der zwischen zwei stählernen Führungsstangen *h*, die an den hohlen Säulen

F und F' befestigt sind, gleitet. Mit der Axe des Rades D kann ein Zählapparat verbunden werden, welcher dann die gelothete Tiefe in halben Faden unmittelbar angiebt. Die Rinne des Rades ist am oberen Halbkreis durch Messingplatten i bedeckt, um ein Abspringen des Drahtes zu verhindern. Die Platten sind oben um Scharniere drehbar, an den Enden werden sie durch kleine Federn k gehalten. Der Rahmen U hat oben einen Kreuzkopf l mit Rolle V, um welche das Drahttau m fährt. In den hohlen Stützen befinden sich die beiden Akkumulatorfedern (Tafel IV, Fig. 2). Mit ihrem unteren Ende sind dieselben am Fuss der Säulen befestigt, und ihre oberen Enden sind durch das Drahttau m verbunden, welches über die Rollen $p'p$ und die Rolle V fährt, der Rahmen hängt also mit der Rolle V an den Akkumulatoren. An der einen Säule befindet sich eine Messingskala, an welcher man, den oberen oder unteren Rand des Rahmens als Index nehmend, den jeweiligen Zug an den Spiralfedern ablesen kann.

4. Die Bremsvorrichtung (Taf. V, Fig. 2). Es sind zwei Dynamometer vorhanden, von denen das eine M an einem Haken der Platte A, das andere M' an der Friktionsleine n befestigt ist.

Diese Dynamometer sind durch eine Leine verbunden, welche für das Fallenlassen des Loths in die Rinne P eingelegt wird.

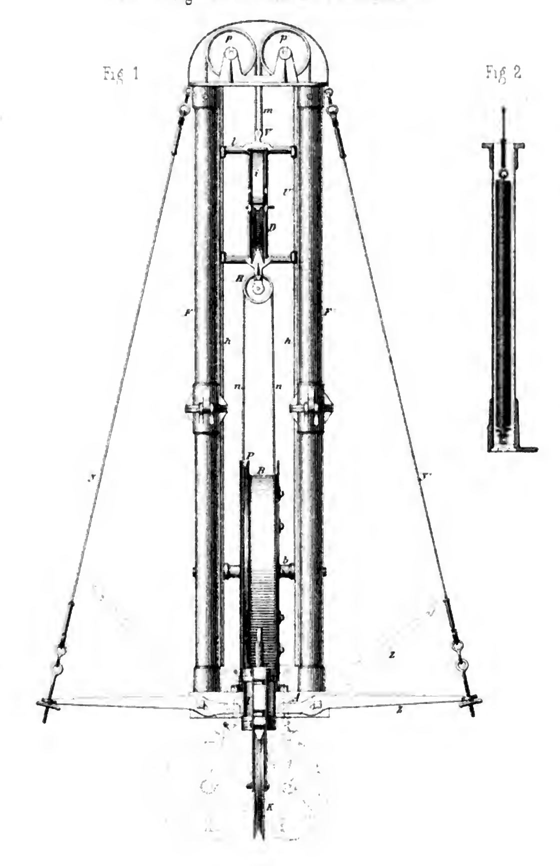
Die Friktionsleine n fährt vom Dynamometer M' unter der Rolle N hindurch, dann nach oben über die Rolle H des Rahmens, wieder hinunter zur Rolle N' und schliesslich nach der Klampe Q, wo sie befestigt oder beim Gebrauch von einem Manne behufs Regulirung der Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel in der Hand gehalten wird. Die Regulirung erfolgt durch Anziehen oder Nachlassen der Leine nach Angabe der Dynamometer, welche jedoch bei einiger Erfahrung nur wenig zu Rathe gezogen werden brauchen.

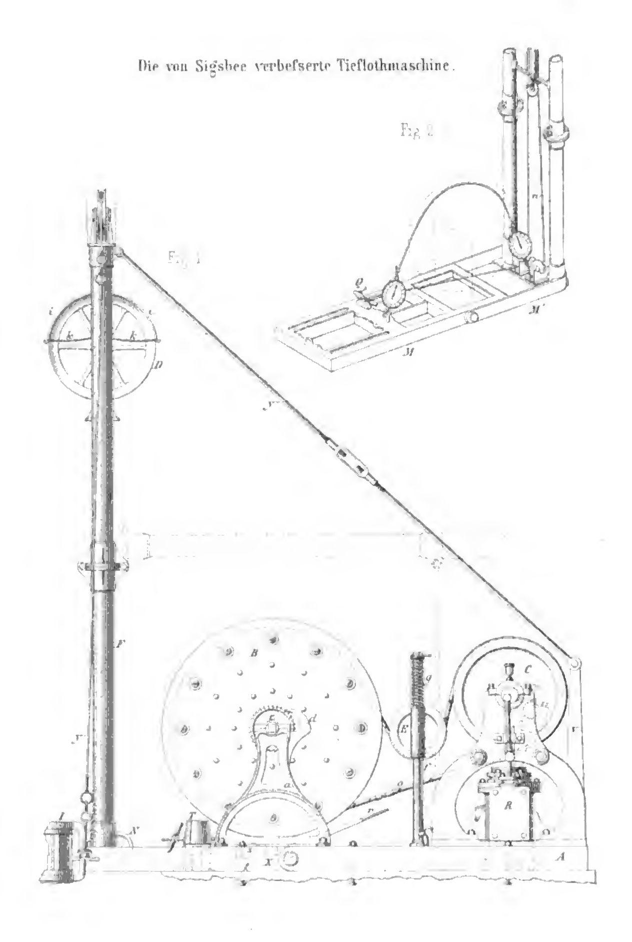
Eine Reservebremsvorrichtung X besteht aus einem zweiarmigen eisernen Hebel, unter der Drahttrommel an der Unterlage A befestigt. An dem einen Ende des Hebels befindet sich eine Platte r zum Aufsetzen des Fusses, an dem andern ein abgeschrägter Holzklotz s und eine Spiralfeder t, welche den Hebel frei von der Trommel hält. Durch einen Druck mit dem Fuss wird der Klotz gegen die Trommel gepresst und diese so gebremst. Die Vorrichtung wird beim etwaigen Brechen der Friktionsleine etc. benutzt.

Der Lothungsdraht hängt durch den Hohlcylinder J senkrecht hinab. Um diesen Hohlcylinder ist ein drehbarer Ring mit Arm gelegt, an welchem ein mit einer Rinne versehenes Richtungsrad K angebracht ist. In die Rinne dieses Rades wird, wenn das Schiff während des Einwindens des Lothungsdrahtes seine Fahrt fortsetzt, der Draht gelegt, so dass derselbe nicht gegen den Cylinder reibt, sondern am Rade gleitet.

Wenn sich während des Ablaufens Kinken oder schwache Stellen des Drahtes zeigen, oder der Draht auf der Trommel unklar ist, so kann

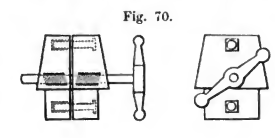
Die von Sigsbee verbefserte Tieflothmaschine.

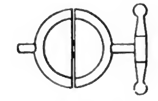



Die von Sigsbee verbefserte Tieflothmaschine.
Fig. 2
Fig. 1
M
M'
D
F
B
C
E
R
A

der Draht mittelst einer Klemmvorrichtung *T* (Taf. V) abgestoppt werden (Fig. 70). Dieselbe besteht aus zwei halbkreisförmigen Klötzen aus Buchsbaumholz, welche mittelst einer Schraube zusammengepresst werden können. Die Vorrichtung wird, wenn ihre Anwendung nöthig ist, über den Draht gestreift, in den Cylinder *J* eingesetzt und dann die Schraube angezogen. Der Draht kann dann eventuell geschnitten und gesplisst werden.

Fig. 70.





Die Säulen haben ein Scharnier und können umgelegt werden, so dass sich der ganze Apparat zusammenlegen lässt (Taf. V Fig. 1).

Das Richtungsrad *K* kann frei um den Cylinder *J* schwingen, wobei seine Rinne immer in der Axe des Cylinders bleibt. Beim Fertigmachen zum Lothen wird der untere Tragbolzen *w* des Arms entfernt, das Rad aufgelüftet und seitlich beliebig befestigt.

Bemerkungen zum Gebrauch der Sigsbeeschen Maschine.

Das Verfahren beim Lothen ist im Wesentlichen dasselbe, wie es für die ältere Maschine angegeben war.

Die Spannung des Drahtes ergiebt sich aus der Differenz beider Dynamometerablesungen. Durch Anholen und Wegfieren der Friktionsleine kann diese Spannung und damit die Auslaufgeschwindigkeit regulirt werden. Zum Einholen wird, wie bei der alten Maschine, die Bremsleine, welche beide Dynamometer verbindet, ausgeworfen und der lederne Treibriemen eingelegt. Neben dem Akkumulator und der Bremsvorrichtung ohne Gewicht sind die unmittelbare Ablesung der Tiefen am Zählwerk des Rades *D* und die Einrichtung zum Einwinden des Drahtes beim Vorwärtsdampfen Eigenthümlichkeiten der Sigsbeeschen Maschine. Zum Einwinden beim Vorwärtsdampfen wird das Führungsrad durch Einsetzen des Bolzens *w* befestigt und der etwa hinderliche Seitenarm *z* mit dem Stag der Akkumulatorröhre hochgeklappt.

§ 59. Der Tiefenindikator von Massey.

Die grossen Ungenauigkeiten, welche mit der Tiefenmessung durch Lothen verbunden sind, beruhen zum grössten Theil auf der Wirkung von Strömungen. Da man die Mächtigkeit der von Strömungen beeinflussten Wasserschichten fast nie, die Geschwindigkeit des Stromes nur selten genügend kennt, so lässt sich eine Korrektur der gemessenen Tiefe

kaum vornehmen. Die Fehler können — namentlich wenn starke Lothleinen angewandt werden — recht bedeutend werden, und die Unsicherheit wächst mit der Fallzeit des Lothes und der Widerstandsfläche, welche die Leine dem Strom bietet.

Trotzdem ist es bis jetzt nicht gelungen, für grosse Tiefen brauchbare Tiefen-Registrirapparate zu konstruiren. Für geringere Tiefen dagegen (bis zu 3000 m) haben sich solche Apparate bewährt und sind für Lothungen im Bereich starker Strömungen sehr geschätzte Hülfsmittel gewesen, beispielsweise bei Lothungen in der Floridastrasse und im Golfstrom.*) Die dort mit Erfolg benutzten Registrirapparate beruhen auf dem Princip des Woltmannschen Flügels. Wenn das Loth im Strom mit loser Leine fällt, so ist die Fallrichtung stets vertikal gerichtet. Eine am Loth befestigte vertikal gerichtete Schraube mit Zählwerk wird daher unbeeinflusst von der Strömung nur die vertikal durchlaufene Entfernung von der Oberfläche angeben, und es ist nur nöthig, eine Hemmvorrichtung anzubringen, welche den Stand des Zählwerks im Augenblick der Grundberührung fixirt.

Der Masseysche Apparat kann als der Grundtypus für diese Klasse von Instrumenten gelten. Der äussere Theil des Instruments besteht aus einem Rahmen, welcher in verschiedener Art über dem Loth eingeschaltet sein kann. In diesem Rahmen befindet sich ein horizontales Flügelrad, dessen Axe mit einer Schnecke in das Rad eines Zählwerks eingreift.

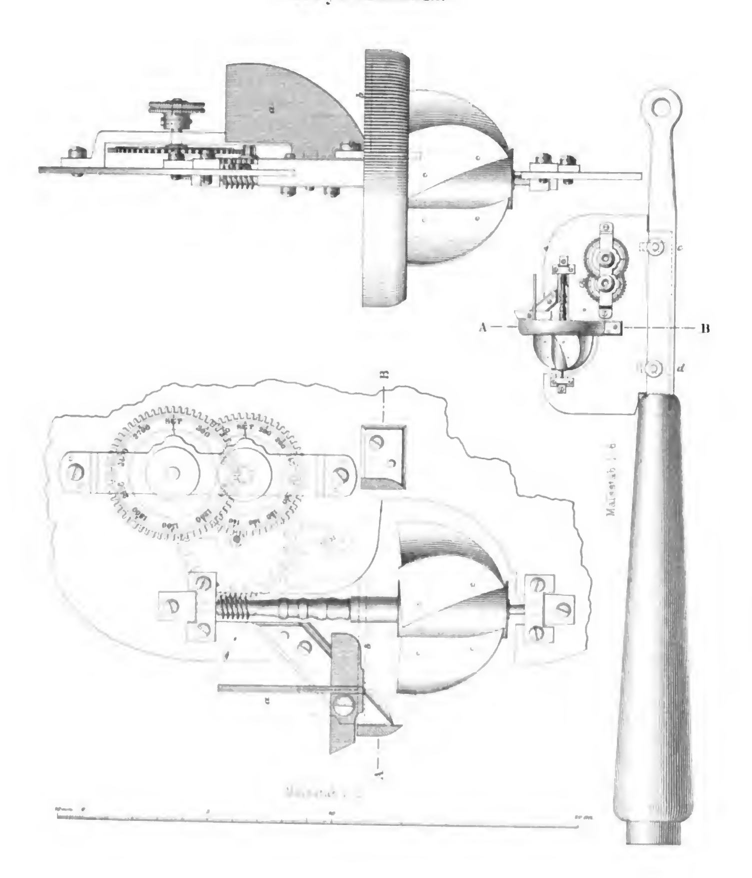
Ein Hebel mit breiter Platte bewirkt die Hemmung, indem er mit einem Zahn zwischen die Flügel des Rades fällt, sobald der Gegendruck des Wassers während der Fallbewegung von unten aufhört. Die Platte *a* (Fig. 2) wird nämlich vorher auf- und niedergestellt und befindet sich in dieser Stellung im labilen Gleichgewicht. Die Platte *b* wird umgekehrt beim Aufholen des Lothes durch den Gegendruck des Wassers von oben niedergedrückt gehalten, so dass eine Auslösung des Flügels nicht stattfinden kann. Das Flügelrad macht für eine bestimmte Strecke vertikaler Abwärtsbewegung eine Umdrehung unabhängig von der Geschwindigkeit dieser Bewegung. Das Zählwerk kann daher auf einem Zifferblatt die erreichte Tiefe unmittelbar zur Darstellung bringen.

Soll das Instrument aber zur Vornahme genauer Tiefenmessungen benutzt werden, so bestimmt man die Konstanten desselben experimentell. Man lässt zu diesem Zweck das Loth mit dem Tiefenindikator vom festliegenden Schiff unter Vermeidung jeder störenden Beeinflussung bis auf direkt gemessene Tiefen von 50, 100, 200 u. s. w. Meter hinab und vergleicht die Ablesung des Instruments mit der bekannten Tiefe. Mit Hülfe einer hiernach entworfenen Tabelle kann dann der Indikator für alle weiteren Lothungen benutzt werden.

---

*) Das auf Tafel VI dargestellte Instrument für Tiefen bis zu 3000 Faden wird an dem eisernen Lothrahmen selbst mit Klammern und Schrauben *c d* befestigt.

Mafsey's Tiefen-Indikator.



Die anderweitig angegebenen Instrumente dieser Art unterscheiden sich von dem beschriebenen wesentlich nur durch Form der Flügel oder Art der Hemmvorrichtung und bedürfen keiner eingehenden Beschreibung. Der Masseysche Apparat ist unstreitig der älteste in Gebrauch befindliche (schon seit Anfang dieses Jahrhunderts angewendet) und hat bei Explorirung des Golfstromes durch die amerikanische Küstenvermessung die brauchbarsten Resultate ergeben.

§ 60. Bestimmung der Tiefe aus dem Druck des Wassers.

Der Druck des Wassers ist schon seit längerer Zeit zur Registrirung der Meerestiefen in Anwendung gebracht. Jedoch hat sich keins der bisher in Gebrauch gekommenen Instrumente, welche auf diesem Princip beruhen, dauernd bewährt. Neuerdings erst hat Sir William Thomson in seiner Navigations-Lothmaschine für geringere Tiefen das Princip durch Verbindung mit einem Drahtloth zu erhöhter Geltung gebracht.

Der Druck, welcher in einer gewissen Wassertiefe herrscht, ist gleich dem Gewicht der darüberstehenden Wassersäule, vermehrt um das Gewicht der Atmosphäre. Es lässt sich hiernach der Druck des Wassers für eine gegebene Tiefe und umgekehrt die Tiefe des Wassers aus dem beobachteten Druck ableiten. Nach dem Mariotteschen Gesetz steht das Volumen der Luft in umgekehrtem Verhältniss zu der Grösse des auf ihr lastenden Druckes. Senkt man also eine oben geschlossene, unten aber offene Röhre ins Wasser hinab, so wird das Volumen der in der Röhre befindlichen Luft sich vermindern nach Massgabe der Tiefe, in welche die Röhre gelangt. Hat der innere Raum der Röhre parallele Wandungen, so nimmt die Länge der eingeschlossenen Luftsäule in demselben Verhältniss ab wie ihr Volumen. Lässt sich nun, nachdem die Röhre wieder heraufgeholt ist, an ihr erkennen, bis zu welcher Länge die Luftsäule zusammengedrückt war, so kann man aus dieser Länge den Druck und aus dem Druck die Tiefe ableiten, welche die Röhre erreichte. Da in Röhren von gleicher Länge die Luftsäule bei demselben Druck stets dieselbe Verminderung ihrer Länge erfährt, so kann man für gleich lange Röhren einen Massstab anfertigen, an welchem die Tiefe direkt abzulesen ist.*)

Bezeichnet a (Fig. 71) die Länge einer oben geschlossenen cylindrischen Röhre, h die Wassertiefe und b die dem Atmosphärendruck gleichwerthige Wassersäule, so erhält man die Höhe x, um welche das Wasser in der Röhre emporsteigt aus der Relation:

---

*) Die Anwendung des Mariotteschen Gesetzes ohne Berücksichtigung des Temperatureinflusses reicht zur Bestimmung des Druckes und der Tiefe vollkommen aus, wenn letztere nicht zu gross ist und sich annehmen lässt, dass die Temperatur der in der Röhre eingeschlossenen Luft nahe konstant und gleich der des Seewassers ist.

$$\frac{a}{a-x} = \frac{b+h-x}{b}$$

$$\text{woraus } x = \frac{a+b+h}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a+b+h}{2}\right)^2 - a\,h}$$

b ist für 760 mm Barometerstand 10,333 m für destillirtes Wasser, für das mittlere specifische Gewicht von 1,0265 des Seewassers also 10,065 m.

Fig. 71.

Hiernach lässt sich für einen beliebigen Cylinder eine Tabelle berechnen, welche aus der Ablesung x oder $a-x$ die Tiefe h zu entnehmen gestattet.

Die Röhren, mittelst welcher die Tiefe bei der zuerst konstruirten Lothmaschine von Sir William Thomson bestimmt wird, sind von Glas, oben hermetisch geschlossen und innen mit chromsaurem Silber belegt. So weit das Seewasser in sie eindringt, färbt sich der rothe Belag gelblich-weiss, und an der Länge des roth gebliebenen Theiles, welche gleich der Länge der zusammengedrückten Luftsäule ist, wird mittelst des dazu gehörigen Massstabes die Tiefe abgelesen, welche das Loth erreicht hatte.

Wenn ein Gefäss von beliebiger Form als Tiefenmesser benutzt werden soll, so erhält man das Volumen V_h der unter dem Druck $h+b$ stehenden Luft im Gefäss in Bruchtheilen des ganzen Gefässvolumens V aus:

$$V_h = \left(\frac{10{,}333}{10{,}333+h}\right) V$$

oder das Volumen des eingedrungenen Wassers

$$V - V_h = V\left(1 - \frac{10.333}{10.333+h}\right).$$

Die Tabelle I am Schluss dieses Abschnitts enthält die hiernach berechneten Werthe von V_h und $V - V_h$ für verschiedene Werthe von b.

Man kann nun den Massstab entweder am Gefäss selbst anbringen oder ein Messglas kalibriren, in welches man den Inhalt des aus der Tiefe h aufgeholten Gefässes ausgiesst. Man verfährt am einfachsten, indem man das Gefäss ganz mit Wasser füllt, das Gewicht p dieses Wasserquantums bestimmt und aus der Tabelle I für jede Tiefe h die Zahl $(V - V_h)$ aufsucht. Das Wasserquantum $(V - V_h)p$ abgewogen und in das zu kalibrirende Gefäss geschüttet, giebt dann den Theilstrich für die Tiefe h.

Gefässe von beliebiger Form, mit einer Kapillaröffnung versehen, aus welcher das Wasser unter dem Druck einer Atmosphäre nicht ausfliesst, sind zum Gebrauch als Tiefenmesser geeignet. Statt der Kapillaröffnung wendet Sir W. Thomson feinmaschiges Zeug als Verschluss des Gefässes an, welches feucht ebenfalls unter dem Druck der Atmosphäre das eingedrungene Wasser nicht auslaufen lässt (vergl. § 62).

Zum Hinablassen des Lothes wird Draht angewendet. Dieser erfährt fast gar keinen Reibungswiderstand, und das Loth erreicht daher in so kurzer Zeit den Grund, dass selbst bei sehr schneller Fahrt des Schiffes gelothet werden kann. Da jedoch der Draht leicht Kinke bekommt, welche meistentheils ein Zerreissen desselben verursachen, so sind beim Lothen besondere Vorsichtsmassregeln zu befolgen, von denen weiterhin die Rede sein wird.

§ 61. Sir William Thomsons Lothmaschine (ältere Konstruktion).

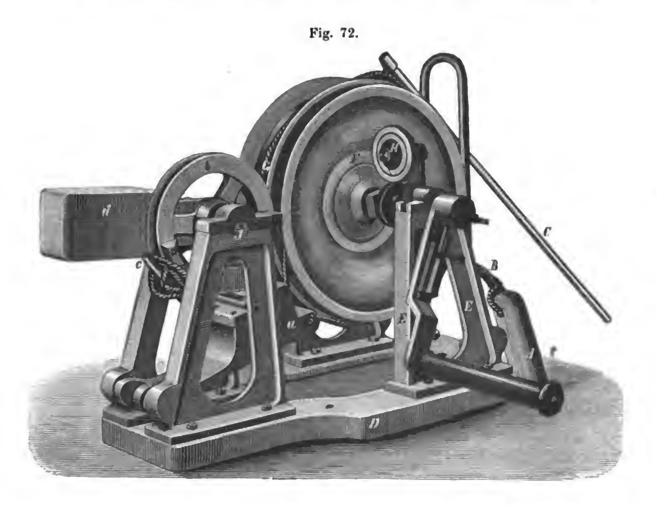
Die Maschine, welche Fig. 72 in $^1/_7$ der wirklichen Grösse darstellt, hat folgende Theile:

1. Eine eiserne, mit einer breiten und einer schmalen Rinne versehene Trommel (F). In der breiten Rinne wird der Lothungsdraht aufgewunden, die schmale Rinne ist zur Aufnahme einer Leine bestimmt, welche zum Bremsen dient. Auf die Axe der Trommel können Kurbeln zum Aufwinden des Drahtes aufgesetzt werden. Die Axen der Trommel ruhen in einem gusseisernen Bock (E), an welchem ein Zählwerk (H) angebracht ist, welches durch eine Schnecke auf der Axe mit der Trommel verbunden wird und die Umdrehungszahl der Trommel angiebt.

2. Eine Bremsvorrichtung zum Hemmen der Umdrehung der Trommel. Sie besteht aus einem gusseisernen Rad b mit schmaler Rinne und Belegklampe c. Ein schwerer Bremshebel (d) ist fest mit diesem Rade verbunden und ein Bremsgewicht a unten an dem eisernen Bock des Rades b angebracht. Das Gewicht a spannt die Bremsleine $G\,G$, welche über die schmale Rinne der Drahttrommel und die Rinne des Bremsrades nach der Klampe c fährt. Der zu der Maschine gehörige Draht hat

ungefähr 0,75 mm Umfang und eine Länge von 400 bis 500 m. An dem Ende desselben befindet sich ein Ring, in welchem eine Leine von 3 m Länge als Vorlauf befestigt wird. An dieser Leine wird das Loth *A*, welches 1 m lang und 11 kg schwer ist, festgemacht. Das Loth hat unten

Fig. 72.



eine Vertiefung zur Aufnahme von Talg zum Aufholen von Bodenbestandtheilen. An der Leine wird ferner eine Messinghülse *C* zur Aufnahme einer Glasröhre so festgemacht, dass ihr oberes Ende etwa 1 m von dem Ringe am Lothungsdraht entfernt ist. Die obere Oeffnung dieser Hülse ist mit einem Bajonettverschluss versehen, und vor der unteren Oeffnung befindet sich ein mit Kautschuk überzogener Stift, auf welchem die Glasröhre lose ruht.

Der Maschine wird mitgegeben:

Eine grössere Anzahl mit einem inneren Belag von chromsaurem Silber versehene Glasröhren, ein Blechgefäss zur Aufnahme der zunächst zur Verwendung kommenden Glasröhren, welches kurz vor dem Beginn des Lothens mit Seewasser von aussenbord gefüllt wird, damit die Luft in den Glasröhren die Temperatur des Seewassers annimmt. Ferner ein Gefäss von verzinktem Eisen, in welchem die Trommel mit dem Draht,

in Kalkwasser liegend, aufbewahrt wird. Ueber die Konservirung des Drahtes ist in der Kaiserlichen Marine die folgende Instruktion erlassen:

Um das Rosten und dadurch herbeigeführte schnelle Verderben des zu Lothungszwecken verwendeten Stahldrahtes zu vermeiden, sind folgende Vorsichtsmassregeln in Anwendung zu bringen:

1. Draht, welcher noch nicht gebraucht ist und trocken aufbewahrt wird, ist in grobgepulvertem ungelöschtem Kalk so aufzubewahren, dass der Draht vom Kalk ganz bedeckt und das Gefäss möglichst luftdicht verschlossen bleibt.

2. Im Gebrauch befindlicher Draht wird in einer starken Lösung von ungelöschtem Kalk in frischem Wasser aufbewahrt. Die Lösung muss den Draht ganz bedecken, und das Gefäss muss geschlossen gehalten werden. Die Drahttrommel wird nur während des Lothens der atmosphärischen Luft ausgesetzt. Beim Einwinden des Lothdrahtes muss durch einen in Kalklösung getauchten Segeltuchlappen verhütet werden, dass Salzwasser auf die Trommel kommt.

3. Gebrauchter Lothdraht, welcher zur Versendung etc. aus dem Gefäss genommen wird, ist in Werg zu wickeln, welches mit Kalkpulver durchsetzt ist, und sodann in Segeltuch zu verpacken. Die Kalklösung, in welcher die Drahttrommeln der Lothmaschinen aufbewahrt werden, muss stets so stark erhalten werden, dass eingetauchtes rothes Lackmuspapier sich schnell dunkelblau färbt. Dies ist allmonatlich und bei häufigem Gebrauch entsprechend öfter zu prüfen. Durch Zusetzen einiger Stücke ungelöschten Kalks und Entfernen eines Theiles des Bodensatzes wird die Lösung von Zeit zu Zeit verstärkt. Kalk und Lackmuspapier werden in gut schliessenden Gefässen aufbewahrt.

Das auf etwa 1 Jahr bemessene Quantum, welches jeder Lothmaschine mitgegeben wird, beträgt:

10 kg ungelöschten Kalk in Stücken,
50 Streifen rothes Lackmuspapier (in einer Glasflasche mit eingeriebenem Stöpsel).

Von einer Benutzung von Oel oder Fett ist in dieser Vorschrift nur aus Rücksicht auf hierdurch erwachsende Unzuträglichkeiten anderer Art abgesehen. Die Aufbewahrung des Drahts in säurefreiem Oel wird im Allgemeinen die allersicherste sein.

Die Maschine muss am Heck oder an einem sonst geeigneten Ort so aufgestellt sein, dass das Loth durchaus frei fallen kann.

Anleitung für den Gebrauch der Maschine.

Ehe man das Loth fallen lässt, muss die Bremsvorrichtung adjustirt sein. Die Bremsleine *G G*, am Ende mit einem Knoten versehen, wird durch das Loch des Bremsgewichtes geschoren und in die schmale Rinne der Trommel eingelegt (siehe Fig. 72), dann nach oben über das Bremsrad *b* genommen und an der Klampe *c* festgemacht. Dazu muss man den

Bremshebel *d* in seine höchste Stellung bringen und dann die Bremsleine so anheben, dass das Bremsgewicht noch gerade die Unterlageplatte berührt. Befindet sich der Bremshebel in einer Stellung, etwa 45° gegen die Horizontale gehoben, so wird wenig oder gar kein Widerstand auf die Umdrehung der Trommel ausgeübt. Lässt man den Bremshebel in die Lage *d* nieder, so wird durch die auf die Trommel ausgeübte Reibung die Umdrehung vollständig gehindert.

Nachdem die Bremse adjustirt ist, wird der Bremshebel in die Lage *d* herabgelassen und das Loth, dessen unterer Theil vorher mit Talg bestrichen ist, an dem Vorlauf des Drahtes befestigt. Die Messinghülse ist an der Leine festgemacht, von oben wird nun eine Glasröhre in dieselbe eingeführt und die Hülse geschlossen.

Soll das Loth fallen, so hebt man den Bremshebel in eine mittlere Lage, in welcher das Bremsgewicht in der Mitte zwischen seiner oberen und unteren Stellung steht. Hierdurch wird die Trommel frei und geräth in rasche Drehung. Wenn das Loth den Grund erreicht, was man an der plötzlichen Verminderung der Umdrehungsgeschwindigkeit sicher erkennt, drückt man den Bremshebel in seine tiefste Stellung *d* nieder und liest dann vom Zähler ab. Wenn das Schiff nur sehr wenig Fahrt hat, so wird der Hebel nicht ganz so hoch gehoben, damit der Draht nicht am Grunde Lose bekommt und Kinken bildet. Niemals darf der Hebel so hoch gehoben werden, dass das Gegengewicht *a* die Unterlage berührt.

Es ist nothwendig, dass sich noch eine Anzahl Buchten auf der Trommel befindet, wenn gestoppt wird. Lässt man den Draht bis auf den Tamp ablaufen, bevor man stoppt, so zerreisst derselbe unfehlbar.

Nachdem man die Umdrehungszahl der Trommel abgelesen, setzt man die Kurbeln ein und windet den Draht möglichst schnell auf, mit dem Bremshebel in der höchsten Stellung, bis das Loth aus dem Wasser und der Drahtring auf die Trommel kommt.

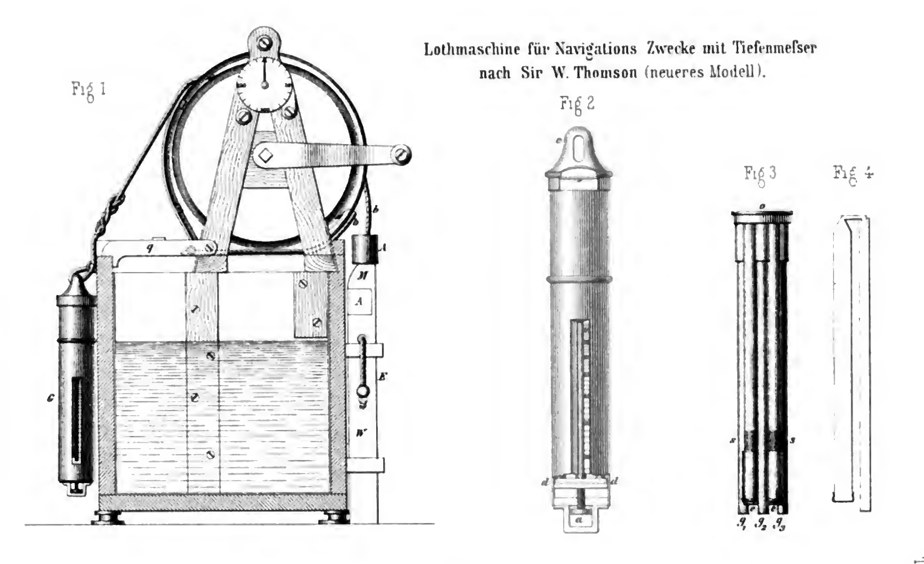
Um die gelothete Tiefe zu erhalten, legt man die Glasröhre so an den Massstab an, dass ihr geschlossenes Ende die oben am Massstab befindliche Messingplatte berührt, und liest diejenige Faden- resp. Meterzahl ab, welche mit der untersten Spitze des rothen Belages in der Röhre abschneidet. Diese Ablesung giebt die Tiefe hinreichend genau, wenn das Barometer zwischen 730,24 und 749,29 mm steht.*)

Steht das Barometer auf		so addire man	bei	oder	bei
755,6 mm,		1 Fad.	40 Fad.	2 m	73 m.
" " "	762	1 "	30 "	2 "	55 "
" " "	774,7	1 "	20 "	2 "	36½ "
" " "	787,4	1 "	15 "	2 "	27½ "

---

*) Die Massstäbe, welche den Glasröhren desselben Modells vom Mechaniker Bamberg mitgegeben sind, stimmen mit den hier zu Grunde liegenden Thomsonschen Massstäben genau überein.

Lothmaschine für Navigations Zwecke mit Tiefenmefser nach Sir W. Thomson (neueres Modell).



Zwei Leute reichen im Allgemeinen aus, die Maschine zu bedienen, gleichviel, welche Fahrt das Schiff macht. Das Loth erreicht von dem Augenblick an, wo man es fallen lässt, in 1/4 bis 1 Minute den Grund und kann von zwei Mann in 1/2 bis 4 Minuten wieder aufgewunden werden, wenn die Tiefe zwischen 30 bis 180 m beträgt. Ein Mann allein kann den Draht einwinden, selbst wenn das Schiff sehr schnelle Fahrt läuft; mit zwei Mann geschieht dies aber schneller und gleichmässiger.

Es ist nicht nöthig, jedesmal eine Glasröhre zu verwenden, sondern es genügt, nur die ersten Lothungen mit Glasröhren vorzunehmen, für die nächsten aber die Angaben des Zählers zu benutzen und nur von Zeit zu Zeit eine Glasröhre zur Kontrole zu verwenden. Der Zähler giebt nämlich die ungefähre Meterzahl des abgelaufenen Drahtes. Zwei Umdrehungen der Trommel entsprechen einem Faden (1,8 m), doch differirt dies etwas im Verhältniss zu dem auf der Trommel befindlichen Draht. Die Länge des abgelaufenen Drahtes ist nicht das Mass der gelotheten Tiefe. Doch lässt sich aus der vorher mittelst Glasröhre gefundenen Tiefe, der bei derselben Lothung abgelaufenen Drahtlänge und der bei der letzten Lothung abgelaufenen Drahtlänge die Tiefe annähernd bestimmen, vorausgesetzt, dass sich inzwischen nicht die Fahrtgeschwindigkeit des Schiffes erheblich geändert hat. Für eine nahezu gleichbleibende Fallgeschwindigkeit des Loths muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel bei grösserer Fahrtgeschwindigkeit erheblich zunehmen. Wegen der Reibung der Trommel fällt das Loth daher bei schneller Fahrt etwas langsamer. (Bei 10 Knoten ungefähr 3 m, bei 15 Knoten etwa 2,4 m pro Sekunde.)

Für eine Fahrt von 9 bis 11 Knoten entspricht die halbe Umdrehungszahl nahe der Tiefe.

§ 62. Sir William Thomsons verbesserte Lothmaschine.

Diese Lothmaschine (Tafel VII) unterscheidet sich durch einfachere Aufstellung, grössere Sicherung des Drahts gegen Rosten und Kinken und ein anderes System von Tiefenmessern. Die Bremsvorrichtung besteht in einer Leine *b*, Fig. 1, mit daranhängenden Gewichten *A* und *W*. Wird die Maschine nicht gebraucht, so lässt man sie in den mit Kalkwasser versehenen Kasten hinab, auf welchen sie nur kurz vor Beginn des Lothens gehoben und dann auf demselben mittelst zweier eisernen Klammern *q* befestigt wird. Von den beiden Gewichten ist nur das kleinere, 3 Pfund schwer, an der Bremsleine *b* befestigt; das lange, 50 Pfund schwere Gewicht *W* hat einen Ansatz *m*, mittelst welchem es über das kleinere gehängt werden kann. An dem Gewicht *W* befindet sich ein Stropp *E*, an dem es in die Höhe gehoben wird. Der Tiefenmesser (Fig. 2, 3) besteht aus drei unten offenen Glasröhren g^1, g^2, g^3 und drei ungleichen Messing-

röhren, welche bei *o* mit je einer Glasröhre in Verbindung stehen (Fig. 4). Ueber jede der unteren Oeffnungen der Messingröhren *e* wird ein Stück sehr feines, aber starkes Baumwollen- oder Leinenzeug gelegt und festgebunden. Das Bändsel sowie das Zeug um die Seiten der Röhren werden mit Wachs verklebt. Das Zeug lässt das Wasser durch, ist aber, wenn nass, für die Luft undurchdringlich. Wenn es schmutzig geworden ist, muss es durch reines ersetzt werden.*) Die unteren Oeffnungen der Glasröhren werden durch ein Ventil von Kautschuk *d*, Fig. 2, mittelst der Schraube *a* geschlossen. Die Glasröhren bilden ein Reservoir, in welches das durch die Oeffnungen der Messingröhren eindringende Wasser überfliesst, und zwar, wenn die eingeschlossene Luft zu $1/3$ ihres Volumens zusammengedrückt ist, in die erste Röhre, wenn sie zu $1/6$ ihres Volumens zusammengedrückt ist, in die zweite Röhre und wenn sie zu $1/12$ ihres Volumens zusammengedrückt ist, in die dritte Röhre. Dementsprechend ist die Tiefenskala an den verschiedenen Röhren getheilt, nämlich in der ersten Röhre von 11 bis 28 Faden, in der zweiten von 28 bis 62 oder 63 und in der dritten von 62 bis 126 Faden. Die Oberfläche des Wassers ist deutlich zu erkennen, und der Theilstrich der Skala, welcher mit ihr abschneidet, ist die gelothete Tiefe. Fällt die Wasserlinie zwischen zwei Theilstriche, so gilt der nächst niedrigere Strich als die Tiefe. Bemerkt man, dass die erste Röhre mit Wasser gefüllt ist, so liest man an der Skala der zweiten Röhre ab, und ist diese gleichfalls gefüllt, an der der dritten Röhre. Befindet sich aber Wasser in der zweiten, resp. zweiten und dritten Röhre und die erste ist nicht voll, oder in der dritten, ohne dass die zweite Röhre voll ist, so liest man im ersten Falle an der Skala der ersten und im zweiten Falle an der der zweiten ab, woraus sich als praktische Regel ergiebt: „Die kleinste Ablesung ist die richtige“. Nachdem man die Tiefe abgelesen, muss man die Schraube *a* lüften und das Wasser vollständig aus den Röhren abfliessen lassen. Dann schraubt man das Ventil wieder dicht an die Oeffnungen der Röhren. Das Röhrensystem kann aus der Hülse herausgenommen werden, indem man die Kapsel *c* derselben abschraubt. Die Leine, mittelst welcher der Tiefenmesser an dem Drahtringe befestigt wird, hat eine Länge von etwa 4 m, ebenso die Leine, mittelst welcher das Loth am Tiefenmesser festgemacht wird. Beide Leinen sind g e f l o c h t e n, weil bei Anwendung einer geschlagenen Leine sich die Turns derselben auf den Draht übertragen und dieser leicht unklar kommen könnte. Der Draht läuft nicht direkt von der Maschine in die Tiefe, sondern durch eine eiserne Leitrolle, welche am Heck befestigt wird.

---

*) Die unteren Röhrenenden lassen sich dazu bei *s* abschrauben. Zur Regulirung der genauen Länge der Röhren sind die Schraubengänge mit Marken (Punkten) versehen.

§ 63. Die Bambergsche Lothmaschine mit Tiefenmesser.

1. Die Lothmaschine (Taf. VII a, Fig. 1)

ist ebenso wie die verbesserte Thomsonsche Lothmaschine in einem mit Kalkwasser gefüllten Kasten untergebracht, welcher gleichzeitig zur Aufstellung der Maschine dient. Der Kasten (Taf. VII a) ist in zwei Theile getheilt, von denen der grössere, mit Zink ausgeschlagene Theil die Maschine, der kleinere sämmtliche Zubehörstücke derselben mit Ausnahme der Lothe aufnimmt.

An der Innenseite des Kastens, nahe der Oberkante desselben, befinden sich zwei eiserne, cylindrisch durchbohrte Doppelkniestücke, in welchen, von Bolzen getragen, die Maschine ruht. Bei *a* ist der Bolzen fest und reicht von der einen Seite des Doppelkniestücks nach der andern, bei *b* dagegen besteht er aus zwei, von jeder Seite des Kniestücks einsteckbaren Hälften, welche in der cylindrischen Bohrung des Maschinenbocks aufeinander stossen. Diese Einrichtung hat den Zweck, die Maschine schnell zum Lothen fertig zu machen und sie ebenso schnell wieder in das den Draht konservirende Kalkwasser herabzulassen.

Im ersteren Falle lüftet man die in dem Bolzen bei *a* vertikal herunterhängende, mit Kalkwasser bedeckte Maschine mittelst des Bremstaues *t* so hoch, dass die bei *b* befindlichen Bolzen hineingesteckt werden können, im andern Falle ist sie gleichfalls mit dem Bremstau etwas zu heben und, nachdem die genannten Bolzen herausgezogen, langsam an dem Tau herabzulassen.

Der die Maschine aufnehmende Theil des Kastens ist durch einen mit Zink beschlagenen Deckel, welcher mit einer in die Nute des Kastens greifenden Leiste versehen ist, verschlossen. Der Deckel wird durch vier mit Charnier versehene, am Kasten befestigte, messingene Zwingschrauben fest heruntergeschraubt, um das Ueberlaufen des Kalkwassers beim Schlingern des Schiffes zu verhüten.

Der andere, für Zubehörstücke eingerichtete Theil ist mit einer verschliessbaren Thür *p* versehen.

Auf dem Bock der Maschine befindet sich der vertikal stehende Anguss *c*, welcher einen, auf der Zeichnung nicht sichtbaren, horizontal liegenden, ungefähr 10 cm langen Bolzen trägt. Auf diesen Bolzen, der am Ende mit zwei beweglichen Schneppern versehen ist, wird eine an ihrer Peripherie ausgeschnittene Scheibe *d* gestreift, in welche der Lothdraht eingelegt wird und hierdurch seine Führung erhält.

Kann die Maschine nicht so aufgestellt werden, dass der über diese Leitscheibe geführte Draht frei von der Bordwand des Schiffes geht, so bedient man sich eines Leitblocks *e*, dessen Scheibe wie die oben genannte eingerichtet ist und welcher an geeigneter Stelle befestigt wird. Ist es nöthig, denselben, wie wohl in den meisten Fällen zutreffend, höher als *d*

anzubringen, so muss der Draht, wie dies in der Zeichnung punktirt angegeben, nach der Unterkante der Rolle *d* und von hier aus nach dem Leitblock *e* geführt werden, um ein Scheuern des Lothdrahts an dem Ausschnitt des Schutzmantels zu verhüten.

Als Bremsvorrichtung ist auf dem Bock der Maschine ein mit Zähnen versehener Kreisausschnitt *f* angebracht und bei *g* zur Aufnahme eines Bolzens durchbohrt. Derselbe verbindet den gleichfalls durchbohrten Bremshebel *h* mit dem Kreisausschnitt und bildet den Drehpunkt des Hebels. Das obere Ende des genannten Hebels endet in einen Griff. Auf der Mitte des Bremshebels befindet sich ein Knopf *s* zur Befestigung des Bremstaues *t*. In gleicher Höhe mit diesem Knopf ist die federnde Stoppvorrichtung *i* angebracht, welche in die Zähne des Kreisausschnittes greift und so liegt, dass sie mit dem Daumen der den Bremshebel bedienenden Hand gleichzeitig bedient werden kann. Das zu der Bremsvorrichtung gehörige, am unteren Ende mit einem Knoten versehene Bremstau *t* ist durch ein Loch in der Bodenplatte geschoren und über die Rille der Trommel bis zu dem Knopf des Hebels geführt. Hier endet es in ein Auge, welches über den genannten Knopf gestreift wird.

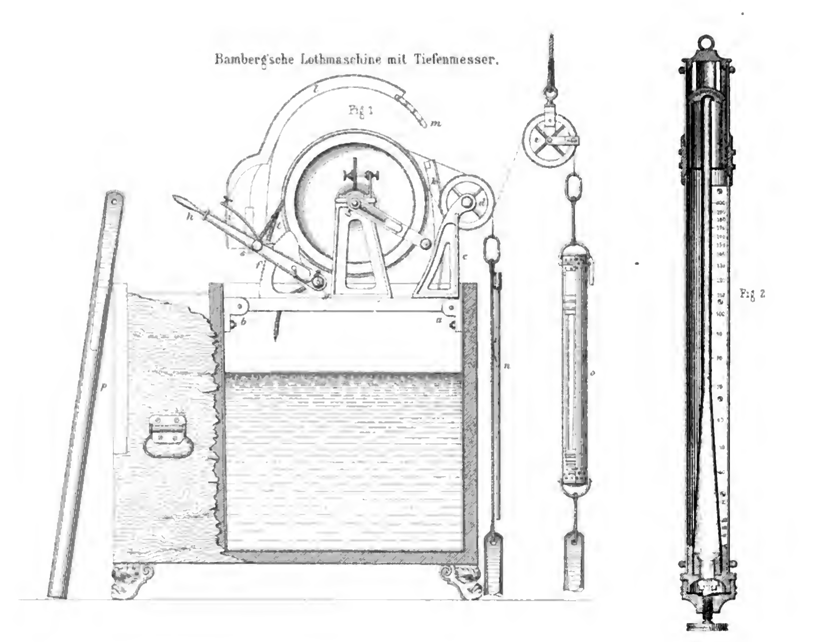
Drückt man nun den Hebel herunter, so fällt die Stoppvorrichtung in die Zähne des Kreisausschnittes, und da hierdurch auch das Bremstau steif geholt wird, kann man die Drehung der Trommel beliebig verlangsamen oder auch ganz verhindern. Gelöst wird die Bremse, indem man den Hebel und gleichzeitig auch die Stoppvorrichtung etwas herunterdrückt und, nachdem letztere von den Zähnen des genannten Kreisausschnittes frei geworden, den Hebel hoch lüftet, wodurch das Bremstau lose wird und nun eine freie Bewegung der Trommel gestattet.

Um die Bedienungsmannschaft gegen das beim Fallen des Lothes abspritzende Kalkwasser zu schützen, ist über der Trommel ein Schutzmantel angebracht. Derselbe besteht aus zwei Theilen, von denen der eine *k* auf der Bodenplatte befestigt und am oberen Ende mit zwei Schlaufen versehen ist. Der andere Theil *l* wird mit den Schienen *m* in die Schlaufen des unteren Theiles *k* gesteckt und ruht mit dem andern Ende lose auf der Bodenplatte der Maschine. Das so über der Trommel hergestellte Dach ist mit einem Ausschnitt für den ablaufenden Lothdraht versehen.

Die übrigen Zubehörstücke sind dieselben wie bei der Thomsonschen Maschine. Kalk und Glasröhren werden nicht in dem Kasten der Maschine untergebracht, sondern in besonderen Behältern mitgegeben.

Die Glasröhren sind in neuerer Zeit an beiden Enden verschlossen, weil die Erfahrung gelehrt hat, dass die feuchte Luft in den Schiffsräumen den Belag der früher an einem Ende offenen Röhren sehr bald verdarb und gegen Seewasser unempfindlich machte. Vor dem Gebrauch der Röhren ist stets die rothe, niemals die weisse Verschlusskapsel durch Erwärmung des Lacks zu entfernen, da erstere nur das Eindringen der

Bamberg'sche Lothmaschine mit Tiefenmesser.



feuchten Luft verhindern, letztere aber den Druck des Wassers aushalten soll und daher eine bedeutend stärkere Befestigung erhalten hat.

2. Der Tiefenmesser (Tafel VII a, Fig. 2)

besteht aus einer unten konischen, oben cylindrischen Glasröhre, welche unten offen, oben aber zugeschmolzen und hier mit einer kleinen Kapillarröhre versehen ist, durch welche beim Lothen das Wasser in die Glasröhre tritt. Zum Schutz dieser Kapillarröhre sowie zum Festhalten der Glasröhre im Gehäuse ist auf dem oberen Ende derselben eine kleine Metallglocke aufgestreift und mit Siegellack befestigt. Ueber dieser Metallglocke sitzt eine cylindrische Hülse, deren Boden ausgehöhlt ist und genau auf die Glocke passt. Um das untere Ende der cylindrischen Hülse ist ein Streifen Musselin gelegt, welcher, sowohl hier als auch um die Glasröhre festgebunden, ein Netz bildet, um den Eintritt von Schlick etc. in die Kapillarröhre zu verhindern. Diese so eingerichtete Glasröhre wird von einem starken, oben und unten verschraubbaren Messinggehäuse umgeben, welches die bis zu 200 m reichende Tiefenskala trägt und am unteren Ende mit einem Ventil zum Oeffnen und Schliessen der Glasröhre versehen ist. Zum Schutz des Tiefenmessers beim Lothen ist noch eine aus starkem Zinkblech hergestellte, oben und unten mit einem Bügel versehene Büchse vorhanden, welche oben offen ist, um den Tiefenmesser aufzunehmen. Letzterer befindet sich stets in dieser Zinkhülse und ist mit derselben im Lothmaschinenkasten untergebracht.

Vor dem Lothen mit Tiefenmesser hat man sich zu überzeugen, ob die Glasröhre leer und das Ventil gut eingeschraubt ist. Sodann lässt man den Tiefenmesser wieder in die Zinkhülse gleiten und steckt einen kleinen, mit Kopf und Schnepper versehenen Bolzen durch die gegenüberliegenden Löcher der Zinkhülse und den oberen Ring des Tiefenmessers, wodurch der letztere in der Hülse hängt und gegen Herausfallen gesichert wird. Verbindet man nun die am Loth befindliche Leine mit dem unteren und die am Drahtring befestigte mit dem oberen Bügel der Zinkhülse, so ist der Tiefenmesser zum Lothen fertig.

Beim Fallen des Loths strömt das Wasser durch die Kapillarröhre ein und drückt die in der an ihrem unteren Ende durch das Ventil geschlossene Glasröhre befindliche Luft der Wassertiefe entsprechend zusammen. Das eingedrungene Wasser ist somit das Mass für die gelothete Tiefe, und wird diese an der Tiefenskala direkt abgelesen. Nach vorgenommener Ablesung muss man das Ventil öffnen und das Wasser aus der Glasröhre vollständig abfliessen lassen. Sodann schliesst man das Ventil wieder, steckt den Tiefenmesser in die Zinkhülse und bringt ihn in dem dafür vorgesehenen Ort im Maschinenkasten unter.

Die nachfolgende Instruktion, welche ursprünglich für die verbesserte Thomsonsche Lothmaschine aufgestellt wurde, gilt auch in sinngemässer Weise für die Bambergsche Lothmaschine.

§ 64. Instruktion für den Gebrauch der Lothmaschine.

1. Bedienungsmannschaft. Zum Lothen sind zwei Mann unter einem Steuermannsmaaten erforderlich. Der Kürze halber wird der eine der Leute als „Mann am Stopper“ der andere als „Mann am Loth“ bezeichnet werden. Der Posten des „Mann am Stopper“ ist die Steuerbordseite der Lothmaschine; der „Mann am Loth“ hat sich neben der Leitrolle zu placiren.

2. Klar zum Lothen. Auf das Kommando „Klar zum Lothen“ nehmen die Leute ihre Posten ein, und ohne weiteren Befehl lüftet der „Mann am Stopper“ die Maschine aus dem Kasten und befestigt dieselbe in ihrer Stellung, indem er die eisernen Arme niederdrückt. Zur selben Zeit legt der „Mann am Loth“ das Loth fertig zum Gebrauch hin und die Messinghülse für den Tiefenmesser in geeignete Lage neben die Leitrolle; er geht darauf an die Maschine, hakt den Tiefenmesser ab, wickelt eine bestimmte Länge Leine von der Rolle ab, indem er sich mit derselben von der letzteren entfernt, wobei sorgfältig darauf zu achten ist, dass die Leine steif bleibt. Er zeigt dann den Tiefenmesser dem Steuermannsmaaten.

Dieser überzeugt sich, dass die Glasröhren leer und sorgfältig durch die Schraube verschlossen sind. Der „Mann am Loth“ steckt dann den Tiefenmesser in die Messinghülse, versichert ihn durch den Splint und legt die Leine über die Leitrolle, so dass der Tiefenmesser dicht an der Rolle aussenbords hängt. Ehe er seine Hand von der Leine nimmt, ruft er: „Stopper zu“.

3. Stopper zu. Der „Mann am Stopper“ macht den Stopper zu (d. h. lässt das Gewicht nieder) und hilft dann sofort dem „Mann am Loth“ vorsichtig das Loth über Bord führen, bis es an dem Tiefenmesser hängt. Er kehrt dann zum Stopper zurück und lüftet denselben leicht, während der „Mann am Loth“ mit seiner Hand an der Leine und dem Ring verhindert, dass letztere zu schnell abläuft, bis der Ring über der Leitrolle ist. Alsdann ruft der „Mann am Loth“: „Stopper zu!“ Darauf nimmt er seine Hand von dem Ring und ruft: „Fertig“.

4. Fertig. Nachdem sich der Steuermannsmaat überzeugt hat, dass Alles in Ordnung ist, geht er an die Backbordseite der Maschine, nimmt den messingenen Bolzen mit Handgriff und drückt ihn ungefähr 2 Fuss von der Trommel leicht gegen den Draht und kommandirt: „Stopper auf“.

5. Stopper auf. Der „Mann am Stopper“ lüftet das schwere Gewicht mit dem kurzen Tauende in die Höhe und hält es hoch bis das Kommando „Stoppen“ erfolgt. Während der Draht abläuft, erwartet er aufmerksam den Befehl zum Stoppen und sieht gleichzeitig nach dem Tiefenzähler. Er ruft aus, wenn der Zeiger die Nummer „50“, „100“, „150“ etc. passirt. Wenn „250“ passirt ist, ohne dass ein Befehl zum Stoppen erfolgt, so beginnt er langsam zu stoppen, indem er das Gewicht sinken lässt; dabei darf der Zeiger die Zahl 300 nicht erreichen.

Während der Draht ausläuft, fährt der Steuermannsmaat fort, denselben so gleichmässig wie möglich mit dem Messingbolzen zu drücken, bis er denselben plötzlich lose werden fühlt, wobei er dann sofort „Stopp“ ruft.

6. Stopp. Der „Mann am Stopper“ lässt auf diesen Ruf das Gewicht sogleich langsam sinken und beobachtet dabei gleichzeitig den Zeiger.

Stoppt die Trommel nicht, obwohl schon das ganze Gewicht zur Geltung gekommen ist, so muss er auf das Gewicht drücken, bis die Trommel zum Stillstand kommt. Unterdessen setzt der „Mann am Loth“ die Kurbel an der Backbordseite der Maschine auf und beginnt sie nach Befestigung in der Richtung zum Einwinden zu bewegen. Sobald hierdurch die Trommel festgehalten wird, nimmt der „Mann am Stopper“ seine Hand vom Gewicht, schaltet das Bremsgewicht aus, setzt die andere Kurbel auf und beide beginnen mit Einwinden.

7. Einwinden. Der „Mann am Loth“ windet nur mit der linken Hand und leitet den Draht zur Trommel mit einem Stück Segeltuch, welches mit Kalkwasser und dem Kalkschlamme angefeuchtet ist. Der „Mann am Stopper“ dreht mit beiden Händen, beobachtet den Zähler von Zeit zu Zeit, und wenn der Ring etwa 8 Meter von der Leitrolle ist, so ruft er: „Loth ein!“

8. Einnehmen des Loths. Der „Mann am Loth“ verlässt sogleich die Maschine, geht an die Reling, unterstützt mit der Hand Ring und Leine und leitet den Ring über die Leitrolle, während der „Mann am Stopper“ fortfährt, langsam einzuwinden, bis der Ring die Trommel erreicht, er legt diesen dann passend auf die Trommel und macht noch eine Umdrehung mehr. Der Ring muss dann etwas über Mitte der Hinterkante der Trommel sitzen, so dass das Gewicht desselben mitbenutzt wird, um den Draht steif zu halten. Die Trommel wird dann gestoppt. Inzwischen holt der „Mann am Loth“ mit der Hand am horizontalen Theil der Leine so lange ein, bis der Tiefenmesser sich dicht vor der Leitrolle befindet und hält dieselbe so lange, bis der „Mann am Stopper“ nach Beendigung der vorhin genannten Verrichtung den Tiefenmesser nebst Hülse ergriffen hat. Der „Mann am Loth“ holt das Loth ein, zeigt den darin enthaltenen Grund dem Steuermannsmaat und macht das Loth klar zum neuen Gebrauch, worauf er seinen Platz an der Maschine wieder einnimmt.

9. Ablesen der Tiefe. Der „Mann am Stopper“ nimmt inzwischen die Leine von der Leitrolle, ebenso den Tiefenmesser aus der Hülse und zeigt denselben dem Steuermannsmaaten, welcher die Tiefe abliest.

10. Aufklaren der Maschine. Der „Mann am Stopper“ öffnet die Röhren des Tiefenmessers unten, leert sie und hängt denselben an dem dazu bestimmten Haken der Maschine auf. Dann nimmt er die Kurbel an Steuerbord in seine linke Hand und lüftet das Gewicht mit seiner rechten. Hierauf fasst er die geflochtene Leine fest mit der rechten

Hand, dreht die Trommel zweimal herum und stoppt dieselbe wieder ab, wobei der Ring wie vorhin zu liegen kommen soll. Die Kurbeln werden abgenommen und die Maschine wieder in den Behälter hinabgelassen, bis dieselbe vom Kalkwasser ganz bedeckt wird, wobei darauf zu achten ist, dass sich hierbei die Trommel nicht dreht. Schliesslich wird der Kasten mit dem Deckel verschlossen.

§ 65. Apparate zur Bestimmung von Stromrichtung und Geschwindigkeit.

Zur Messung der Stromrichtung und Geschwindigkeit bedient man sich entweder schwimmender Gegenstände, deren Fortbewegung man misst, oder man überträgt die Geschwindigkeit des Wassers auf die Bewegung eines Rades oder einer Schraube, entnimmt aus den Umdrehungszahlen die Geschwindigkeit und misst die Stromrichtung hiervon getrennt. Diese Vorrichtungen modificiren sich, je nachdem die Strommessung an der Oberfläche oder in der Tiefe vorgenommen werden soll.

Messung der Stromgeschwindigkeit vermittelst frei schwimmender Körper.

Ein schwimmender Körper, auf welchen keine anderen Kräfte als die des umgebenden Wassers einwirken, bewegt sich mit einer Geschwindigkeit fort, welche der des Wassers gleich ist.

Voraussetzung bei einer derartigen Messung ist also, dass der eingetauchte Körper allen äusseren Einflüssen des Windes oder Luftwiderstandes entzogen ist und dass er keine eigene Bewegung hat oder annehmen kann.

Das gewöhnliche Logscheit ist ein Instrument dieser Art, ebenso kann die Manipulation der Geschwindigkeitsmessung, welche man als Relingslog bezeichnet, nach demselben Princip zum Messen des Stromes dienen.

Für eine Strommessung von grösserer Genauigkeit ist es indessen nothwendig, dass der schwimmende Körper tiefer eingetaucht ist. Eine Tauchung von 2 m wird nach den ausgedehnten Erfahrungen der amerikanischen Küstenvermessung hierzu für erforderlich gehalten. Dementsprechend wurde dort an Stelle des Logscheits eine 2 m lange Röhre in Anwendung gebracht, welche soweit mit Wasser angefüllt wurde, dass sie in vertikaler Stellung fast vollständig eingetaucht der Bewegung des Wassers folgte.

In allgemeinem Gebrauch ist die Kombination zweier Schwimmgefässe, deren Beschreibung und Anwendung für die Bestimmung des Ober- und Unterstroms im Folgenden gegeben wird.

Zwei cylindrische Gefässe (Fig. 73) von Kupferblech, etwa 20 cm im Durchmesser und 30 cm hoch, werden durch einen Draht verbunden und so in das Wasser gebracht, dass das untere Gefäss der zu messenden Unterströmung, das obere der Oberflächenströmung ausgesetzt ist. Zu

dem Zweck bleibt das untere Gefäss geöffnet und wird event. noch mit einigen hineingelegten Eisenstücken beschwert, damit das obere Gefäss weit genug hinuntergezogen wird, um dem Winde keinen Widerstand zu bieten. Ein auf dem oberen Gefäss aufgesetzter Konus macht den Ort des schwimmenden Apparats über Wasser kenntlich.

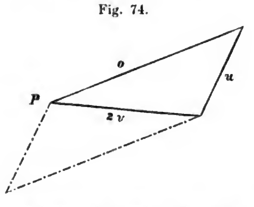
Fig. 73.



Um die Tiefe, in welcher das untere Gefäss schwimmen soll, leicht zu variiren, wird der Verbindungsdraht auf einer Rolle in 5 und 10 Meterlängen vorräthig gehalten. Jede Länge hat an einem Ende einen Ring, am anderen einen Karabinerhaken, so dass sich mit grösster Leichtigkeit die einzelnen Längen ein- oder ausschalten lassen.

Bei der Anwendung des Apparats wird die Annahme zu Grunde gelegt, dass beide Gefässe gleichen Widerstand gegen das bewegende Wasser bieten und dass die Widerstandsfläche des Drahts vernachlässigt werden kann. Wenn man dann ein solches Paar von Schwimmgefässen mittelst eines Drahts von 2,5 m Länge verbindet und die Richtung und Geschwindigkeit dieses freischwimmenden Paares als Oberflächenstrom annimmt, so leitet man aus der Richtung und Geschwindigkeit eines Gefässpaares mit n Meter langem Verbindungsdraht in folgender Weise den Unterstrom für n Meter Tiefe ab.

Fig. 74.



Es bezeichne die Linie o (Fig. 74) den gemessenen Oberflächenstrom nach Richtung und Geschwindigkeit, die Linie u die zu ermittelnde Richtung und Geschwindigkeit des Unterstroms, v die gemessene Richtung und Geschwindigkeit der Doppelboje für den Unterstrom, welche sich in der Resultante von o und u fortbewegt.

Wäre die Doppelboje in der Zeiteinheit nur vom Oberstrom beeinflusst gewesen und in einer folgenden Zeiteinheit nur vom Unterstrom, so hätte sie den Gesammtweg $2v$ zurückgelegt. Der beobachteten einen Zeiteinheit entspricht also der halbe Weg v und es ergiebt sich die Konstruktion:

Vom Punkt P wird o und $2v$ der Richtung und Geschwindigkeit nach abgesetzt und daraus die Richtung und Geschwindigkeit des Unterstroms als die ergänzende dritte Dreiecksseite gefunden.

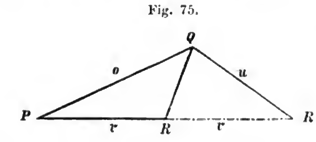
Oder mit Hülfe der Koppeltafeln:

Man findet u, den Unterstrom, indem man von $2v$ als Gesammtkurs den Kurs o zurückrechnet.

Die Strombeobachtungen werden bei Gelegenheit der Tieflothungen in der Weise angestellt, dass das Boot an der Lothleine verankert wird (nachdem das Loth den Grund erreicht hat, oder an der Schleppleine, nachdem mit dem Grundnetz geschleppt ist). Um Zeit zu ersparen, misst man aber von dem Boot in dieser Weise nur den Oberflächenstrom und wirft sodann das Boot los. Während die Tiefenleine an Bord eingeholt wird, bleibt dann noch Zeit genug, den Unterstrom in folgender Art zu messen:

Man lässt das Bojenpaar für die bestimmte Tiefe frei treiben und das Boot demselben nahe folgen. Vom Boot aus wird dann das Bojenpaar für den Oberflächenstrom ausgesetzt, welches an einer dünnen Leine, die nach Metern abgemerkt ist, forttreibt; die Leine bleibt ganz lose. Nach einer genau gemessenen Zeit (6 bis 12 Minuten) wird die Leine von dem dicht bei den Tiefenbojen befindlichen Boot steifgeholt, die Richtung gepeilt und der Abstand notirt. Die Tiefenboje wird dann aufgeholt und der Draht für eine neue Tiefe eingeschaltet. Bei dieser Art der Messung hat man für die Konstruktion des Unterstroms: die vorher vom verankerten Boot gemessene Richtung und Geschwindigkeit des Oberstroms o (Fig. 75). Die Peilung und Abstandsbestimmung RQ giebt den Ort des Bootes R und damit die Resultante v. Aus o und $2v$ findet man wie vorher den Unterstrom u.

Fig. 75.



Wäre das Boot bei der Oberflächenboje Q geblieben, so würde in analoger Weise QR und v zu finden sein. Das letztere Verfahren würde nur bei sehr starkem Oberstrom und schwachem Unterstrom den Vorzug verdienen.

§ 66. Der Stromrichtungsanzeiger von Aimé.*)

Dieser Stromrichtungsanzeiger besteht im Wesentlichen aus der Kombination eines Pfeils, welcher sich in die Stromrichtung einstellt mit einer

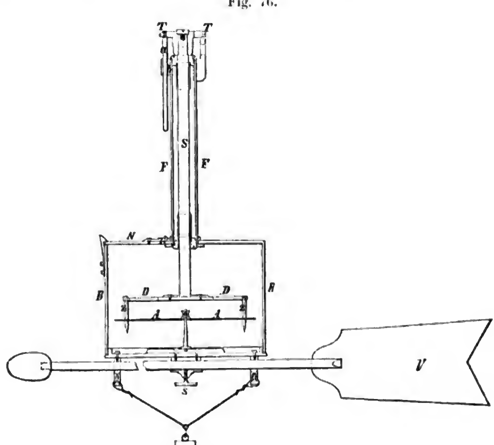
*) Der Apparat wird auch bezeichnet als „Irmingers Stromindikator“.

freischwebenden Magnetnadel, welche durch ein umschliessendes Gehäuse gegen die Einwirkung des Stromes geschützt wird. Eine Arretirvorrichtung ermöglicht, die relative Richtung des Pfeils und der Magnetnadel an dem Apparat unter Wasser zu fixiren, so dass man nach dem Aufholen die magnetische Richtung des Stromes ablesen kann.

Die Figur 76 zeigt das cylindrische Gefäss, in welchem eine Magnetnadel *A A* auf einer Pinne frei schwingt.

Auf diesem Gehäuse ist eine Röhre *F F* angebracht, durch welche eine runde Stange *S* für die Arretirvorrichtung hinabgeht. Das obere

Fig. 76.



Ende dieser Stange trägt eine Platte *T T*, an ihrem unteren Ende sitzt eine durchbrochene Scheibe *D*, welche an ihrer Peripherie 36 gleich weit von einander entfernte Zähne trägt.

Wenn die Scheibe *D* hinabgedrückt ist, wie in Fig. 76 dargestellt, so wird die Magnetnadel zwischen ihren Zähnen *z z* festgehalten, und ihre Drehung gehemmt. Wird hingegen *D* soweit gehoben, dass die Zähne nicht mehr die Nadel berühren, so hat dieselbe freie Bewegung und kann sich in den magnetischen Meridian einstellen.

An der Aussenseite der unteren Fläche des Gehäuses befinden sich zwei Oesen mit doppelten Löchern und in der Mitte der Fläche ein Lager

mit einer Schraube *s*. Durch die oberen Löcher der Oesen wird der Pfeil mit seinem vertikal gerichteten Flügel *V* so hindurch geschoben, dass der Apparat im Wasser balancirt und in dieser Lage durch die Schraube bei *s* festgeklemmt wird. In die unteren Löcher der Oesen wird ein Loth eingehängt.

In der Platte *TT* befindet sich ein Loch. Die Leine, mittelst welcher der Apparat in die Tiefe gelassen werden soll, wird durch dieses Loch hindurch gezogen und in einem Ring an der Röhre *FF* befestigt.

Wenn der Apparat gebraucht werden soll, wird die Magnetnadel auf ihre Pinne gelegt, des Gehäuse *BB* mit Wasser gefüllt und der Deckel *N* geschlossen. Man lüftet nun die in der Röhre gleitende Stange *S*, wodurch die Zähne *zz* über die Magnetnadel emporgehoben werden und die letztere unbehindert schwingen kann.

An der unteren Seite der Platte *T* sitzt ein Leitstift *a*, welcher sich in einer Führung *b* an der Röhre *FF* mit leichter Reibung bewegt. Durch die Reibung des Leitstiftes sollen die Zähne *zz* in der gehobenen Stellung gehalten werden. Wenn dies nicht vollständig durch die Reibung erzielt wird, so muss man ein dünnes Holzstäbchen neben den Leitstift bei *b* aufstellen, welchen die Platte *T* trägt. Man senkt darauf den Apparat bis zu der Tiefe, in welcher man beobachten will, hinab und wenn er dort so lange gewesen ist, dass man annehmen kann, die Magnetnadel sei zur Ruhe gekommen, lässt man ein auf die Leine gestreiftes Gleitgewicht hinunterlaufen. Durch den Fall des Gleitgewichts auf die Platte *T* wird die Friktion des Leitstiftes überwunden, resp. das dünne Holzstäbchen zerbrochen und die Zähne *zz* werden soweit hinabgedrückt, dass die Magnetnadel *AA* zwischen denselben festgehalten wird. Wenn das Instrument heraufgezogen ist, erkennt man aus dem Winkel, welchen der Pfeil mit der Magnetnadel bildet, die magnetische Richtung des Stromes. Der Abstand der Zähne von einander beträgt etwa 9°.

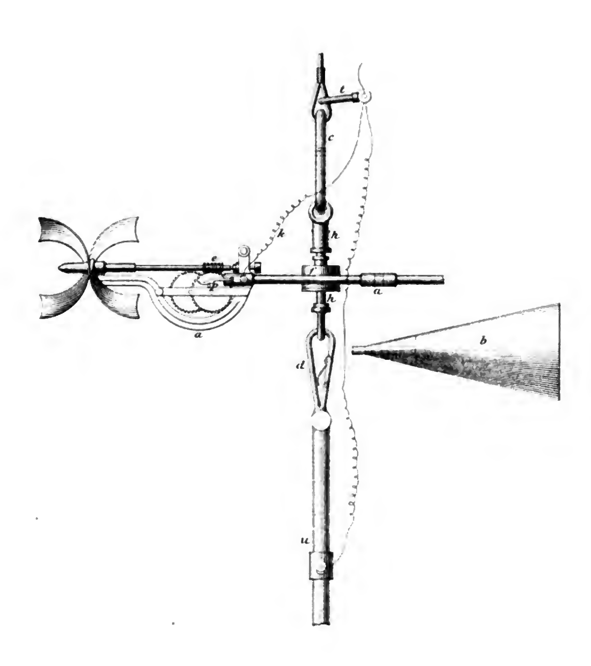
Das cylindrische Gefäss hat einen Durchmesser von etwa 16 cm. Wenn das Gleitgewicht 1 kg wiegt, ist der Aufschlag desselben auf die Platte vollkommen hinreichend, um die Reibung zu überwinden und die Magnetnadel festzusetzen.

Bei Beobachtungen mit diesem Apparat darf das Fahrzeug, von dem aus beobachtet wird, seinen Ort nicht verändern. Wenn das Fahrzeug während der Beobachtung treibt, wird der Pfeil nicht mehr die wirkliche Stromrichtung anzeigen, sondern die resultirende Richtung aus Strom und Drift des Fahrzeugs.

§ 67. Der Woltmannsche Flügel.

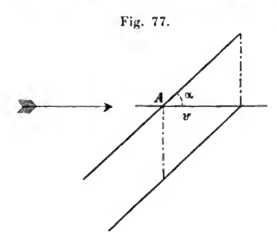
Der Woltmannsche Flügel besteht in einfachster Form aus einer der Stromrichtung parallel zu stellenden Axe, um welche sich zwei unter einem bestimmten Winkel dem Stoss des Wassers ausgesetzte Flügel drehen.

Woltmann'scher Flügel mit elektrischer Zeichengebung.
Amsler-Laffon.



Betrachtet man den Vorgang bei dem Druckmittelpunkt A (Fig. 77) des um α zur Stromrichtung geneigten Flügels, so ergiebt sich: damit das mit der Geschwindigkeit v fliessende Wasser ungehindert am Flügel vorbeifliessen kann, muss der letztere mit einer Geschwindigkeit $v \operatorname{tg} \alpha$ seitlich ausweichen.

Fig. 77.



Bezeichnet r die Entfernung des rotirenden Punktes A von der Axe und macht der Flügel n Umdrehungen in der Zeiteinheit, so ist die Stromgeschwindigkeit in der Zeiteinheit:

$$v = 2\, r\, \pi \operatorname{ctg} \alpha \,.\, n.$$

Der Flügel dreht sich aber nicht ohne Reibung um seine Axe. Es muss also noch ein Koëfficient μ für Reibung eingesetzt werden, und man erhält:

$$v = \mu \,.\, 2\, r\, \pi \,.\, \operatorname{ctg} \alpha \,.\, n.$$

Die Bestimmung der Konstanten des Flügels α, r, μ ist nicht leicht getrennt auszuführen und auch nicht erforderlich.

Man bestimmt empirisch den Weg einer Umdrehung:

$$\mu\, 2\, r\, \pi \operatorname{ctg} \alpha = k$$

und erhält dann die Geschwindigkeit durch Beobachtung der Umdrehungszahl in der Zeiteinheit $n\, k = v$.

Mit dem Apparat ist zu dem Zweck ein Zählwerk in Verbindung gebracht, welches mit einer Arretirungsvorrichtung versehen ist.

Um den Apparat der Stromrichtung parallel zu stellen, ist derselbe noch mit einem Ruder verbunden.

Der Woltmannsche Flügel ist ursprünglich für Strommessungen in geringen Tiefen für Flüsse bestimmt und wird dann auf einer Stange befestigt, welche vertikal in das Wasser gehalten wird.

In Folgendem wird nur auf die Einrichtung des Apparats zur Strommessung in grösseren Tiefen Bezug genommen werden.

§ 68. Der hydrometrische Flügel von Amsler-Laffon.

(Tafel VIII.)

Der Rahmen $a\,a$, welcher auf der einen Seite die Horizontalaxe mit dem eigentlichen Flügel, auf der andern das Ruder b trägt, hat in der Mitte eine Durchbohrung, durch welche die Vertikalaxe frei hindurchgeht. Durch kardanische Aufhängungsringe f ist der Rahmen mit der Vertikalaxe h verbunden, so dass, wenn die letztere, durch den Strom fortgetrieben, eine schräge Stellung annimmt, eine horizontale Lage des Instruments noch inne gehalten werden kann. Um diese zu sichern, ist

das Ruder dütenförmig konstruirt. Die Vertikalaxe ist nur ein kurzes Gelenkstück, in welches oben der Karabinerhaken *c* des Drahtseils, unten der des Belastungsgewichts *d* eingreift.

Die Horizontalaxe des Flügels ist zwischen den beiden Lagern mit einer Schnecke *e* versehen, von welcher das Zählwerk, aus zwei Zahnrädern zusammengesetzt, eingreift.

Auf dem einen Zahnrade ist der Kontakt *P* excentrisch angebracht, welcher nach je 100 Umdrehungen des Flügels an dem die Kommunikation mit dem Zuleitungsdraht *k* vermittelnden Hebel vorbeistreift.

Das Drahtseil, an welchem der Apparat hängt, wird an Bord über eine Leitrolle geführt und befindet sich auf der Trommel *r* aufgerollt, deren Axe einen Zähler trägt, um die Tiefe abzulesen (Fig. 78).

Die elektrische Zeichengebung ist wie folgt angeordnet: Der Batteriekasten *B* (Fig. 78) steht neben der Trommel; an demselben befinden sich zwei Klemmen, welche vermittelst Spiraldrähten mit den Klammern am Deckel des Elements verbunden sind. Das Batterieglas wird mit einer Lösung von einigen Gramm Chromsäure in Wasser etwa zur Hälfte gefüllt. Die eine Klemme wird mit dem eisernen Bock der Aufwindetrommel durch einen Draht verbunden. Das Drahtseil vermittelt dann die eine elektrische Leitung nach dem Kontakt *P*, Taf. VIII. Von der andern Klemme geht ein Draht direkt zum Apparat hinab und ist mittelst eines Hakens *t* bei *c* fest. Hier theilt er sich, ein Draht läuft nach dem Kontakthebel nach *P*, ein anderer nach dem Vertikalrohr *u* des linsenförmigen Aufhängegewichts. In diesem Rohr ist ein federnder Grundtaster eingeschlossen, welcher durch die Schwere der Linse zusammengedrückt wird, sobald die letztere auf dem Grunde aufruht.

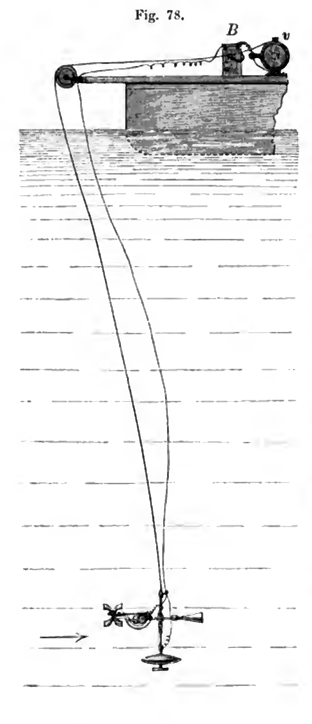
Die Drähte sind durch Guttaperchahülle isolirte Kupferdrähte. Die Isolirung der Kontaktstelle ist keine vollkommene und genügt nur im Flusswasser vollständig. Das Läutewerk im Batteriekasten wird durch diese Leitungen in Bewegung gesetzt: anhaltend, wenn das Belastungsgewicht am Grunde aufruht, kurz vorübergehend, wenn der Flügel des freihängenden Apparates je 100 Umdrehungen zurückgelegt hat.

Gebrauch des Apparates.

Hieraus ergiebt sich folgendes Verfahren für die Strommessung in verschiedenen Tiefen.

Der Apparat wird mit angehängter Linse und eingeschalteten Drähten über Bord gelassen (Fig. 78). Wenn er die Wasserfläche berührt, wird der Zähler an der Trommel auf Null gestellt. Nun wird durch Rückwärtsdrehen der Kurbel der Flügel auf den Grund gelassen, die Grundberührung kennzeichnet sich durch anhaltendes Läuten. Man hebt den Apparat dann wieder; sobald das Läuten aufhört, liest man die Tiefe an der Trommel ab, und die Strombeobachtung kann beginnen.

Fig. 78.





An der Trommel befindet sich eine Sperrklinke, welche nun fallen gelassen wird.

Man notirt nach einer Sekundenuhr die Glockensignale, und zwar die Momente, in denen das Klingeln aufhört (den Beginn des Klingelns als Avertissement benutzend). Das Intervall entspricht immer 100 Umdrehungen; die Beobachtung von 2 bis 3 Intervallen genügt in allen Fällen. Darauf wird der Apparat so weit eingewunden, bis der Zähler an der Trommel die nächste Tiefe anzeigt, in welcher der Strom gemessen werden soll.

Ohne den Apparat aufzuholen, kann man somit in sehr kurzer Zeit eine grosse Anzahl von Strommessungen in verschiedenen Tiefen vornehmen.

Beobachtet man die Zeit für ein Intervall von 100 Umdrehungen zu t Sekunden, so ist:

$$v = k \cdot \frac{100}{t}.$$

Für sehr genaue Messungen bei geringen Geschwindigkeiten setzt man auch die Formel:

$$v = a + k \frac{100}{t},$$

worin a die geringe Geschwindigkeit des Stroms ist, bei welcher sich der Flügel noch nicht dreht.

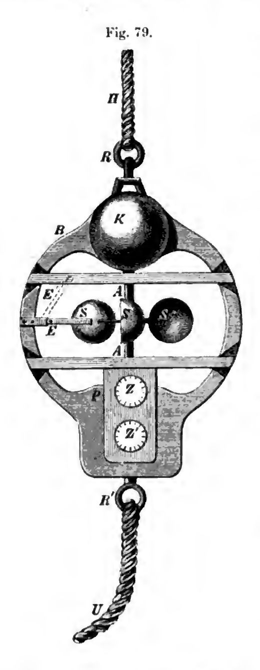
§ 69. Der Stromgeschwindigkeitsmesser von Arwidson.

Der Apparat beruht auf dem Princip des Robinsonschen Schalenkreuzes,*) welches in folgender Weise zur Ausführung gebracht ist:

*) Robinsonsche Schalenkreuze sind in Amerika bei Stromgeschwindigkeitsmessern in Anwendung gebracht, aber vertikal gestellt und mit einem Ruder ver-

In einem Metallrahmen, dessen Form aus der Fig. 79 ersichtlich ist, rotirt ein Schalenkreuz um eine vertikale Axe. Diese steht durch Schnecke und Zahnrad mit einem Zählwerk in Verbindung, welches sich im inneren Theil des Rahmens befindet. In dem oberen Theil des Rahmens ist eine schwere Kugel *k* eingesetzt, welche im Verhältniss zu dem ganzen Instrument ein solches Gewicht hat, dass der Schwerpunkt des Ganzen in diese Kugel fällt.

Fig. 79.



Seitlich am Rahmen befindet sich ganz lose in einem Charnier drehbar ein Sperrhaken *E*, welcher zwischen die Kugelschalen hineinragt und die Drehung des Schalenkreuzes hindert, so lange die schwere Kugel nach oben gerichtet ist, aber aus denselben hinausklappt (Stellung *E'*), wenn der Rahmen mit der Kugel nach unten gedreht wird. Oben und unten am Rahmen befindet sich ein Ring für die Leinen.

Soll der Apparat gebraucht werden, so wird an jedem Ring, *R* und *R'*, desselben eine besondere Leine befestigt. Diese Leinen müssen so bezeichnet sein, dass sie sich auch dann leicht von einander unterscheiden lassen, wenn der Apparat unter Wasser ist.

Soll nun eine Beobachtung vorgenommen werden, so lässt man den Apparat an der Leine *H* hängend in die Tiefe. In dieser Stellung nimmt der Sperrarm die Lage *E* an und verhindert so das Umdrehen des Schalenkreuzes. Hat der Apparat die Tiefe erreicht, in welcher man die Stromgeschwindigkeit messen will, so holt man die Leine *U* möglichst schnell steif, indem man gleichzeitig die Leine *H* loslässt. Dann dreht sich der Apparat vermöge der Schwere der Kugel *K* herum, so dass sich die Kugel unten befindet, der Sperrarm fällt in die Lage *E'*, und das Schalenkreuz kann sich frei herumdrehen. In demselben Augenblicke notirt man die Zeit. Ist die Zeit verflossen, für welche man die Umdrehungen des

---

bunden. Dieselben haben für verschiedene Geschwindigkeiten stärker variirende Koëfficienten ergeben als Schraubenflügel.

Schalenkreuzes erhalten will, so holt man die Leine *H* wieder rasch an, indem man gleichzeitig die Leine *U* loslässt und die Zeit notirt. Sowie sich der Apparat umgedreht hat, fällt der Sperrarm wieder zwischen das Schalenkreuz und arretirt dasselbe.

Zur Berechnung der Stromgeschwindigkeit aus der Zahl der Umdrehungen des Schalenkreuzes während einer bestimmten Zeit wird jedem Apparat eine für denselben vorher ermittelte Konstante beigegeben. Ist diese Konstante beispielsweise = 0,45545, so erhält man die Stromgeschwindigkeit pro Sekunde durch die Gleichung:

$$v = \frac{u \times 0{,}45545}{t} \text{ (Meter)},$$

in welcher v die verlangte Geschwindigkeit, u die Zahl der Umdrehungen und t die Anzahl der Sekunden ist, während welcher das Schalenkreuz u Umdrehungen machte.

§ 70. Geschwindigkeitsmesser mit nachgeschleppter Schraube.

(Patentlogs.)

Dasselbe Princip, welches dem Woltmannschen Flügel und dem Schalenkreuz zu Grunde liegt, wird in der ganzen Klasse von Geschwindigkeitsmessern angewendet, welche als Patentlogs bezeichnet werden und hauptsächlich zur Messung der Schiffsgeschwindigkeit, vereinzelt aber auch als Strommesser konstruirt werden.

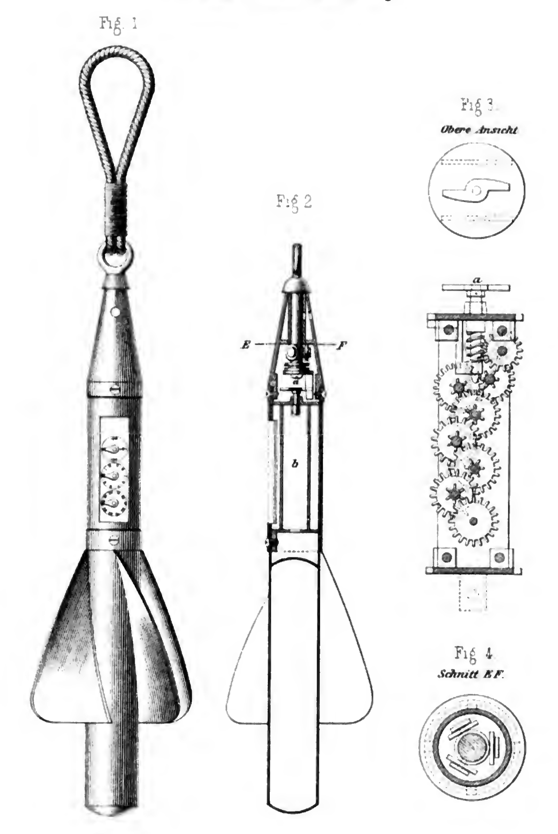
Ein jedes solches Instrument hat, wie der Woltmannsche Flügel, seine individuelle Konstante, welche experimentell zu bestimmen ist. Da aber übereinstimmend gefertigte Instrumente nahe dieselbe Konstante haben müssen, so sieht man es in der Regel als genügend an, wenn das Instrument von einem bekannten Verfertiger herrührt, welcher nach dem Muster geprüfter Instrumente dieselben in grosser Zahl herstellt. Wie weit der Verfertiger aber die Prüfung seines Musterinstrumentes ausgeführt hat, ist nicht bekannt, also auch nicht, ob für die empirische Bezifferung des Zählwerks eine einfache Konstante oder für verschiedene Geschwindigkeiten verschiedene Konstanten benutzt sind. Es ist daher aus der erprobten Zuverlässigkeit des Patentlogs bei geringer Geschwindigkeit nicht zu folgern, dass sich dasselbe Instrument bei grossen Geschwindigkeiten gleich zuverlässig zeigen werde. Die Erprobung des Patentlogs bei verschiedenen Geschwindigkeiten ist am besten während der Fahrt des Schiffes ausführbar. Probefahrten an der gemessenen Meile bieten eine günstige Gelegenheit zur Prüfung. Die Konstruktion dieser Apparate variirt mannigfaltig in den Details. Die Hauptschwierigkeit besteht darin, den starken Wasserdruck, welcher bei grossen Geschwindigkeiten auf die Schraube wirkt, bei der Uebertragung der Drehung auf das Zählwerk unschädlich zu machen. Aus der ausführlichen Beschreibung einiger Apparate wird ersichtlich werden, in welcher Weise diese Reibung überwunden ist. Die anderen Apparate der gleichen Klasse bedürfen dann nur einer kurzen Erläuterung.

Das ältere Masseysche Log besteht aus einer vierflügeligen Schraube, welche durch eine kurze Leine mit einem Zählwerk in Verbindung steht. Das Zählwerk ist in einem Metallkasten eingeschlossen und wird an einer Leine von der Länge des Vorlaufs einer gewöhnlichen Logleine hinter dem Schiffe nachgeschleppt. Die Einrichtung der Registrirung ist der auf Taf. IX, Fig. 3 dargestellten ähnlich. Eine Schraube ohne Ende nimmt die Umdrehungen der Schraube auf und überträgt sie auf das Zählwerk. Da beide Theile des Logs im Wasser nachschleppen und durch wenige Faden Leine verbunden sind, so bedarf es hier nicht besonderer Vorsorge für Verhütung von Stössen etc. Die Schraube ohne Ende dreht sich in zwei mit dem Kasten des Zählwerks fest verbundenen Lagern.

Das Walkersche Log (Taf. IX) verlegt das Zählwerk in die Schraubennabe selbst. Diese äusserliche Vereinfachung des Apparates bedingt einen komplicirteren Mechanismus.

Das Princip der Konstruktion besteht darin, dass die Schraube mit dem Zählwerk um eine Schnecke *a* (Taf. IX, 3) rotirt. Diese Schnecke wird als feststehend angenommen, die Zahnräder, welche in dieselbe eingreifen, machen die Rotation der Schraube mit und registriren durch ihre Bewegung die Zahl der Rotationen. Die Schnecke, welche als feststehend betrachtet wird, steht mit dem Schaft, in welcher die Schleppleine des Apparats befestigt ist, durch eine Kuppelung in Verbindung. Der Widerstand, welchen die Leine gegen Zusammendrehen durch die Schraube bietet, hält den Schaft in seiner Ruhelage. In Wirklichkeit wird der Vorgang so verlaufen, dass die Leine bis zu einem gewissen Grade zusammengedreht wird und dann eine Reaktion eintritt, so dass der Schaft immer abwechselnd etwas den Rotationen der Schraube folgt und denselben dann wieder entgegen rotirt. Eine ungleichmässige Bewegung des Zählwerks ist also unvermeidlich, muss aber so weit abgeschwächt werden, dass der Mechanismus der Zahnräder und Getriebe trotzdem sicher funktionirt. Die ganze Konstruktion richtet sich also vornehmlich darauf, die Reibung zu vermindern und einen möglichst ruhigen Gang des Zählwerks zu sichern. Zugleich ist klar, dass eine Leine, welche hart geschlagen ist und gegen Torsion Widerstand leistet, für den Apparat am zweckmässigsten sein muss. Auf Tafel IX zeigt Fig. 2 die Verbindung der Schraube mit dem Schaft. Drei Friktionsrollen (Fig. 2 bei *E F* und Fig. 4) nehmen den Druck auf, welcher vom Widerstand des Wassers gegen die todte Fläche der Schraube herrührt. Eine Kuppelung *a* (Fig. 2), ähnlich wie sie bei der Schraubenwelle der Dampfschiffe angewendet wird, hält Stösse von dem Zählwerk fern. Dieses selbst ist in Fig. 3 dargestellt. Auf dem Zifferblatt (Fig. 1) lassen sich Viertel, Einer und Zehner ablesen bis zu 100 Seemeilen. Die Zeiger sind auf die Axen mit Reibung aufgestreift, so dass sie sich beliebig einstellen lassen, ohne das Räderwerk zu drehen. Oben in der Schraube befindet sich ein Loch, um dem Wasser den Zutritt zu lassen, welches als

F. Walker's Patent Schiffs-Log.



einziges Schmiermittel dient. Es ist nun klar, dass dieser Mechanismus ohne wesentliche Aenderung so angeordnet werden kann, dass das Zählwerk still steht und der Schaft mit der Leine sich dreht. Dies ist geschehen in den verschiedenen Decklogs, bei welchen das Zählwerk am Heck des Schiffes angebracht ist. Der Schaft, mit Kuppelung und Friktionsrollen versehen, setzt mit der Schnecke das Räderwerk in Bewegung, indem er der Rotationsbewegung einer Schraube folgt, welche durch eine Schleppleine mit diesem Schaft in Verbindung steht.*)

§ 71.

Das Decklog von Massey ist ein solcher Apparat. Statt der Friktionsrollen sind bei demselben vier Kugeln eingeschaltet.

In der Hülse *a c* (Fig. 80) rotirt *b b'* (Fig. 81) mit der in das Zählwerk eingreifenden Kuppelung *d*. Die nachgeschleppte Schraube, welche die Rotation bewirkt, spannt *b* an (wie in Fig. 80). Der rotirende Teller bei *b'* drückt dabei auf die mitlaufenden Kugeln, welche den Druck auf den festen Teller *f f* der Spiralfeder übertragen.

Das Zählwerk des Masseyschen Decklogs ist in einer flachen runden Kapsel eingeschlossen und setzt einen Zeiger in Bewegung, welcher die zurückgelegte Fahrt auf einem Zifferblatt in vollen Seemeilen abzulesen gestattet.

Koncentrisch mit diesem Zeiger ist ein längerer Zeiger angebracht, welcher für jede Seemeile einmal das ganze Zifferblatt durchläuft. Für diesen Zeiger ist ein äusserer Kreis in sechzig Theile getheilt. Man liest also Sechzigstel einer Seemeile ab. Soviel Sechzigstel aber in einer Minute, soviel Seemeilen werden in einer Stunde zurückgelegt. Um die jeweilige

*) Um ein gutes Funktioniren von Walkers Log zu erzielen, giebt der Führer eines englischen Handelsdampfers im Oktoberheft des „Nautical Magazine“, Jahrgang 1883, Seite 770, als Resultat einer siebenjährigen Erfahrung Folgendes an:

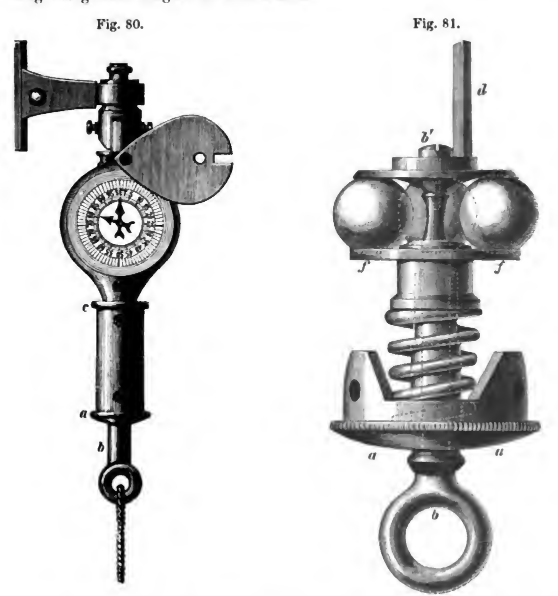
Dem Oelloch gegenüber ist in der Schraube eine zweite Oeffnung anzubringen, welche den Abfluss des alten Oels gestattet. Ferner muss der Schaft alle zwölf Stunden (mit Cranes Maschinenöl) geölt werden. Zu diesem Zweck werden einige Tropfen reinen Oels in das obere Oelloch gegossen, darauf der Schaft gedreht, um das Oel zu vertheilen. Man wiederholt dies so lange, bis aus dem unteren Oelloch völlig reines Oel abfliesst, worauf beide Löcher zu verschliessen sind. Den Schaft nehme man alle drei Wochen aus einander und reinige ihn in allen Theilen sorgfältig, ebenso besichtige man gleichzeitig das Räderwerk, um es gleichfalls zu reinigen und, wenn nöthig, zu ölen. Zwei bis drei Mal im Jahr ist das Log zu zerlegen und zu versehen.

Um das Eindringen fremder Körper in das Innere des Logs zu verhüten, empfiehlt sich die Anbringung eines Leinwandkleides, welches das Instrument in seiner ganzen Länge, unter Freilassung der rotirenden Theile, umhüllt.

Bei Beobachtung vorstehender Vorsichtsmassregeln hat das Log bei Windstille und ruhigem Wetter einen Fehler von 4.5 pCt., bei frischem Gegenwind und entsprechender See einen solchen bis zu 5.5 pCt., bei frischem raumen Winde und gleicher See einen Fehler bis zu 4 pCt. gezeigt.

Fahrt des Schiffes abzulesen, beobachtet man also den zurückgelegten Weg des grossen Zeigers für eine Minute.

Fig. 80. Fig. 81.

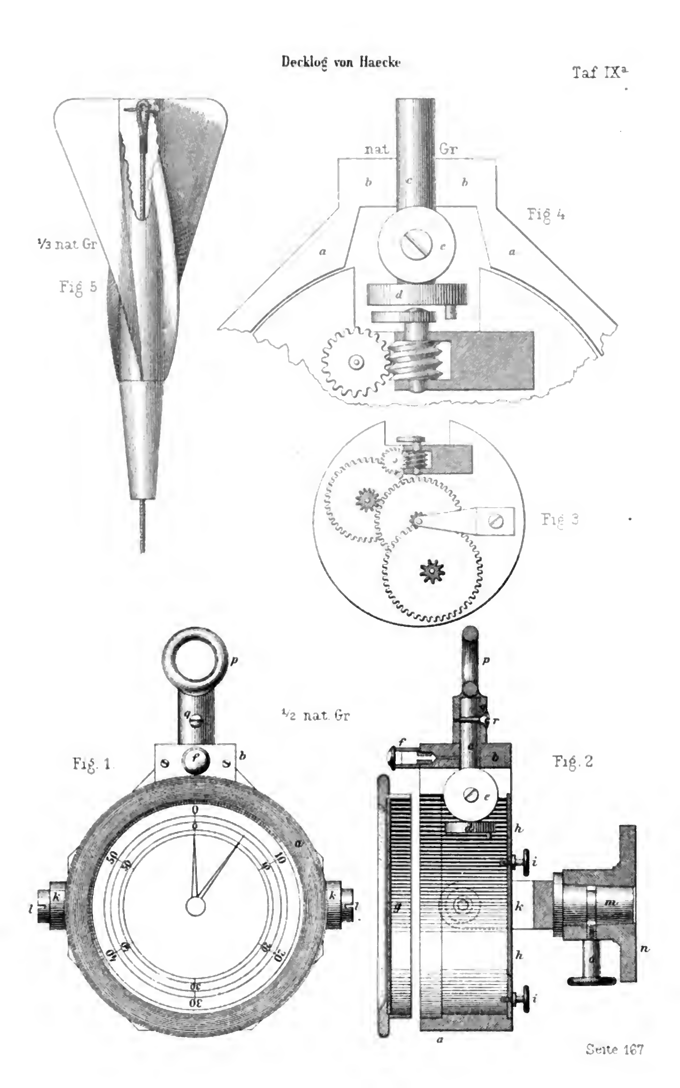


Die beiden Zeiger lassen sich auch hier ohne Weiteres auf die Nullstellung verschieben. — Als Schmiermittel wird für alle Apparate dieser Art Oel nothwendig.

Der Masseysche Stromgeschwindigkeitsmesser,
welcher für geringe Stromgeschwindigkeiten*) besonders geeignet ist, zeigt im Wesentlichen die Konstruktion des älteren Patentlogs von Massey in kleinen Dimensionen.

*) Dieser Apparat ist bei den Strommessungen in der Nordsee und im englischen Kanal, welche den englischen Gezeitentafeln zu Grunde gelegt sind, vielfach zur Anwendung gekommen.

Decklog von Haecke



Seite 167

Die Schraube ist 24 cm lang und durch eine 30 cm lange Schnur mit dem Zählwerk verbunden. Dieses Zählwerk wird von einem Schwimmer getragen, welcher aus einem messingenen Hohlcylinder (etwa 0,6 m lang) besteht. Unter dem Hohlcylinder befindet sich eine Schiene, an welcher entlang der Kasten mit dem Zählwerk verschoben und mittelst einer Klemmschraube festgestellt wird, so dass bei jeder Geschwindigkeit eine horizontale Lage des Schwimmers erhalten werden kann. Das Zählwerk ist mit vier Zeigern versehen, von denen der eine den zurückgelegten Weg des Stromes in englischen Fuss angiebt, die übrigen drei die Anzahl Seemeilen (Zehner, Einer, Zehntel) registriren.

§ 72. Das Decklog von Haecke.

Dieser Apparat (Taf. IX a) besteht ebenfalls aus einem Zählwerk, welches von einer mit dem Schaft durch eine Schleppleine verbundenen, nachgeschleppten Schraube in Bewegung gesetzt wird. Es weist dies Log den bereits beschriebenen gegenüber bedeutende Vortheile auf, die besonders in der einfachen und soliden Konstruktion des ganzen Apparates liegen, welcher Zählwerk sowie den mit Kuppelung und Friktionsscheiben versehenen Schaft in einem festen Gehäuse vereinigt.

Das Gehäuse *a* (Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 4) ist aus einem Stück Rothguss gefertigt, innen zur Aufnahme des Zählwerks ausgedreht, aussen achteckig. Die eine der Seiten tritt gegen die anderen hervor und bildet so den Ansatz *b*. Derselbe ist zur Lagerung des Schaftes *c* durchbohrt und zur Aufnahme der Kuppelung *d* und der Friktionsscheiben *e* nach innen ausgeschnitten (Fig. 4). Dieser Ausschnitt wird nach dem Einsetzen des Schaftes oben und unten durch je eine dünne Messingplatte geschlossen. Eine senkrecht bis zum Schaft reichende Bohrung dient zur Aufnahme des Schmiergefässes *f* (Fig. 2).

Das Gehäuse wird oben durch einen eingeschliffenen Metallring mit Glasscheibe *g*, unten durch eine einfache Messingscheibe *h* (Fig. 2) geschlossen, welche, durch drei Kopfschrauben *i* mit der unteren Platte des Zählwerks verbunden, dasselbe in dem Gehäuse festhält.

An den beiden rechtwinklig zu der Schaftbohrung stehenden Seiten, welche verstärkt sind, wird der Träger *k* durch zwei Schrauben *l* (Fig. 1) derart festgehalten, dass sich das Gehäuse um seine Horizontalaxe leicht bewegen lässt.

Der Träger endet nach unten in den mit einer ringförmigen Ausdrehung versehenen Zapfen *m* (Fig. 2), welcher in dem aus Messing gegossenen Fuss *n* ruht. In die ringförmige Ausdrehung greift die Kopfschraube *o* derart, dass ein Herausspringen des Trägers ausgeschlossen, eine Drehung um die Vertikalaxe aber nicht verhindert wird.

Das Zählwerk (Fig. 3) besteht aus fünf Rädern (von diesen ist das eine auf der Zeichnung fortgelassen, da es über dem mittleren liegt),

Schnecke und Mitnehmer, welche zwischen zwei durch Träger aus einander gehaltene Scheiben gelagert sind.

Die obere Scheibe trägt das Zifferblatt, auf welchem sich zwei Zeiger bewegen und die zurückgelegte Fahrt in ähnlicher Weise wie bei dem Decklog von Massey angeben.

Der Schaft *c* (Fig. 4) ist mit der Kuppelung aus einem Stück verfertigt und trägt lose aufgeschoben das Friktionsstück mit den drei Friktionsscheiben.

Schaft und Schraube (Fig. 5) sind durch eine 60 m lange Leine verbunden. Dieselbe wird durch die Schraube geschoren und das am Tamp befindliche Auge durch einen Querbolzen festgehalten. Vorn ist ein Karabinerhaken eingesplisst, welcher in den Ring *p* (Fig. 1) eingehakt wird.

Da bei diesem Apparat ebenfalls Oel als Schmiermittel zu verwenden ist, so wird behufs gründlicher Reinigung desselben ein Auseinandernehmen und Zusammensetzen nothwendig, welches sehr leicht in nachstehender Weise zu bewirken ist:

Nachdem die Leine ausgehakt, hebt man den Deckel *g* (Fig. 2) ab und löst die Kopfschraube *o*. Man kann dann den Apparat aus dem auf der Reling festgeschraubten Fuss *n* herausziehen. Löst man nun die Schrauben *i*, so fällt die Scheibe *h* nach unten heraus, während das Zählwerk nach oben herausgenommen werden kann, sobald die Kuppelung in der in Fig. 4 angegebenen Reihe steht. Wird jetzt die Schraube *r* entfernt und der Ring *p* mit Gehäuse *q* vom Schaft abgezogen, so kann dieser nach innen durchgestossen und das Friktionsstück abgestreift werden. Das Schmiergefäss *f* ist einfach auszuschrauben.

Beim Zusammensetzen, welches in umgekehrter Reihenfolge geschieht, hat man darauf zu achten, dass der kleine Einschnitt in der oberen Platte über einen Schraubenstift *t* (Fig. 2) greift, welcher diametral zu dem Schaftloch auf dem Absatz angebracht ist. Dieser Absatz dient zur Auflage der oberen Platte des Zählwerks.

Es empfiehlt sich, vor dem Einschrauben der Kopfschrauben *i* den Deckel *g* fest aufzusetzen, da hierdurch ein besseres Eingreifen der Schrauben erzielt wird.

§ 73. Messung der Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen.

1. Oberflächentemperaturen.

Für Temperaturen des Oberflächenwassers werden gewöhnliche Thermometer benutzt. Dieselben sind entweder mit einem Blechgefäss verbunden, mit welchem sie in das Wasser hinabgelassen werden, oder sie sind nur in einen schützenden Holzrahmen eingeschlossen, und man schöpft das Wasser mittelst anderer Gefässe. Beim Schöpfen des Wassers muss darauf geachtet werden, dass das Gefäss zuvor die Temperatur des

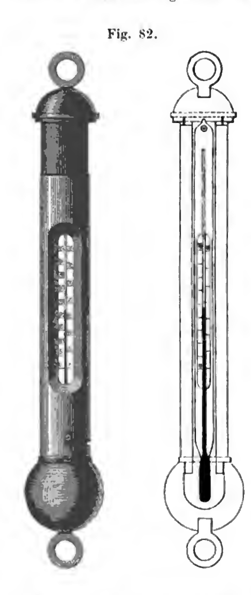
Wassers angenommen hat und das Wasser selbst nicht verunreinigt ist (z. B. durch Kondensationswasser der Maschine).

Im Uebrigen ist für diese Klasse von Beobachtungen kein besonderes Instrument erforderlich.

2. Temperatur in geringen Tiefen.

Für Temperaturmessungen in geringen Tiefen, wie sie in der Ost- und Nordsee angetroffen werden, namentlich auch am Meeresboden, haben sich Thermometer gut bewährt, welche durch Einschliessung in einen schlechten Wärmeleiter träge gemacht sind, so dass sie einer bestimmten Expositionszeit bedürfen, ehe sie die Temperatur ihrer Umgebung annehmen. Diese Expositionszeit richtet sich nach der Art der Einschliessung und nach dem Unterschiede der Temperaturen an der Luft und in der zu untersuchenden Wasserschicht. Die für diesen Zweck in Verwendung befindlichen Thermometer sind in Hartgummihüllen eingeschlossen (Fig. 82), welche einen Ausschnitt mit starkem Glasfenster für die Ablesung der Skalen haben. Ein drehbarer Messingcylinder mit Bajonettverschluss umgiebt den cylindrischen Theil der Hartgummihülle zum Schutz des Glasfensters gegen mechanische Verletzung. Die folgende Kurve (Fig. 83) zeigt den Gang der Temperaturänderung mit der Zeit, wenn ein so eingeschlossenes Thermometer aus der warmen Luft in eine kalte Wasserschicht unvermittelt eingesenkt wird.

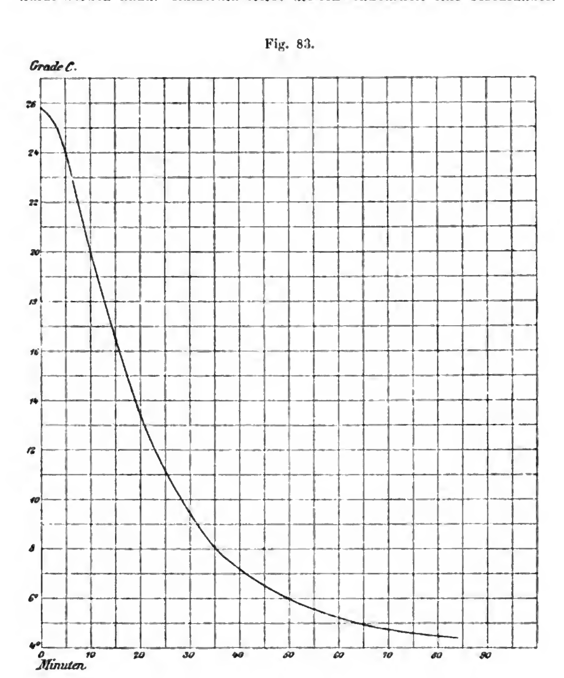
Fig. 82.



Für den Gebrauch dieser Thermometer ergiebt sich daher Folgendes: Die Thermometer werden mit einem Loth an der Lothleine hinabgelassen und in der zu untersuchenden Tiefenschicht 90 Minuten lang belassen. Nach Verlauf dieser Zeit werden sie schnell aufgeholt und abgelesen. Diese Instrumente sind nicht auf grossen Wasserdruck berechnet, weil ja grosse Tiefen ohnehin wegen der kurz bemessenen Aufholezeit ausgeschlossen sind. Sie werden nur in Tiefen von nicht mehr als 50 m verwendet.

Es ist klar, dass durch Verstärkung oder Verminderung der Isolirhüllen die Konstruktion variirt werden kann und dass die Expositionszeit bei zu erwartenden geringen Temperaturunterschieden entsprechend verkürzt werden kann. Immerhin bleibt die Anwendbarkeit eine beschränkte.

Fig. 83.



Für die speciellen Aufgaben der Küstenstationen der Kommission zur Untersuchung der deutschen Meere sind diese Thermometer in der Form, wie sie Fig. 82 zeigt, vom Mechaniker L. Steger zu Kiel nach den Angaben jener Kommission hergestellt worden.

3. Tiefseetemperaturen.

Die Temperatur in grossen Tiefen wird mit Thermometern gemessen, welche durch eine starke äussere Glashülle vor dem Einfluss des Wasserdrucks geschützt sind. Ist eine solche Hülle nicht vorhanden, so wird das Thermometergefäss, selbst wenn es stark genug ist, um unter dem Druck des Wassers nicht zu zerbrechen, zusammengepresst und dadurch ein zu hoher Stand des Thermometers verursacht. Die unten folgende Beschreibung der gebräuchlichsten Tiefseethermometer giebt über die Einrichtung der schützenden Hülle näheren Aufschluss.

Die Temperaturmessungen in der Tiefe werden in der Regel mit Tiefseelothungen in Verbindung gebracht. Zur Ermittelung der Temperatur am Meeresboden werden zwei Tiefseethermometer über dem Loth an der Lothleine oder dem Vorlauf des Drahtes befestigt.

Die Messung der Zwischentemperaturen (Reihentemperaturen) geschieht in der Regel nur von 1500 Faden aufwärts, da sich unterhalb der 1500 Faden-Tiefe die Temperatur sehr wenig ändert. In welchen Abständen die Temperaturen gemessen werden sollen, unterliegt dem persönlichen Urtheil bezw. den Umständen; z. B. wurden von der Gazelle Reihentemperaturen in der Regel wie folgt angeordnet: 1500, 1200, 900, 700, 500 Faden und dann von 100 zu 100, zuletzt von 50 zu 50 Faden. An Bord des Challenger wurden engere Grenzen innegehalten und mehrere Reihen nach einander genommen, aber nicht mehr als acht Thermometer an einer Leine befestigt, damit bei einem möglichen Bruch der Leine nicht zu viel Instrumente verloren gingen.

Zu den Reihentemperatur-Beobachtungen dient eine zöllige Lothleine mit einem 25 bis 50 kg-Loth, an welcher die Thermometerhülsen, welche mit Gummibändern versehen werden sollten, um die Vibrationen der Leine abzuschwächen, angebunden werden. An Bord der Blake wurden für diese Befestigung stählerne Klemmfedern*) mit Erfolg benutzt.

Ueber die Lothleine wird ein Beiholer gestreift, überhaupt die ganze Vorrichtung in gleicher Weise zugetakelt, wie dies für Lothungen mit der Leine beschrieben worden ist. Zwischen dem Hinablassen und Aufholen wird eine Pause von 10 Minuten innegehalten.

§ 74. Das Tiefseethermometer von Miller.

(Maximum- und Minimumthermometer nach Six.)

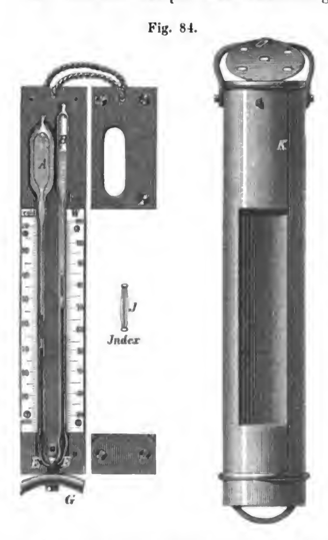
Dieses Thermometer ist im Wesentlichen ein Weingeistthermometer mit einem Quecksilberfaden als Index (Fig. 84).

Die Thermometerröhre ist heberförmig gebogen. Am linken oberen Ende befindet sich das Gefäss, welches eine Alkoholflüssigkeit (von hoch-

*) Taf. XIV, Fig. 3 *X Y W* lässt die Konstruktion einer solchen Klemmfeder erkennen.

gelegenem Siedepunkt, z. B. Amylalkohol oder dergl.) enthält, die Kammer am rechten oberen Ende ist zum Theil mit derselben Flüssigkeit, zum Theil mit den Dämpfen aus derselben gefüllt. In dem heberförmigen Rohr befindet sich ein Quecksilberfaden, welcher von dem sich ausdehnenden Alkohol vor sich hergeschoben wird, beim Zurückweichen des Alkohol indessen durch die elastischen Dämpfe dem Alkohol wieder zu folgen gezwungen wird.

Fig. 84.



In jedem der beiden Schenkel befindet sich ein Indexstäbchen, bestehend aus einem Stahlstift, welcher in einer feinen Glasröhre eingeschlossen ist (*J*). An den knopfartigen Enden dieser Stahlstifte sind elastische Borsten befestigt, welche gegen die inneren Wandungen der Glasröhre drücken, so dass der Index überall in der Thermometerröhre stehen bleibt, wenn er nicht von dem Quecksilberfaden vor sich hergeschoben wird. Es ergiebt sich also ein Funktioniren dieses Thermometers in folgender Weise: Bei Temperaturzunahme dehnt sich die Flüssigkeit im linken Gefäss und Schenkel aus und schiebt das Quecksilber vor sich her. Dabei tritt die Flüssigkeit aber am linken Indexstäbchen vorbei, der untere Knopf desselben bezeichnet also den Stand vor der Temperaturzunahme. Nimmt die Temperatur ab, so tritt die Flüssigkeit zurück, die elastischen Dämpfe rechts drücken den Quecksilberfaden nach, und das Indexstäbchen rechts bleibt stehen, mit seinem unteren Ende den Thermometerstand vor der Temperaturabnahme anzeigend. Die Temperatur wird an einer Skala abgelesen, welche entsprechend dem Spiel des Instruments auf der rechten Seite von unten nach oben, auf der linken von oben nach unten wächst; den jeweiligen Stand liest man an den beiden Quecksilberkuppen bei richtigem Funktioniren des Thermometers übereinstimmend ab. Die Indexstäbchen werden mittelst eines Hufeisenmagneten verschoben und nach der Ablesung wieder auf die Quecksilberkuppen hinuntergeführt.

Dies ist das Maximum- und Minimumthermometer von Six, welches für seine Verwendung als Tiefseethermometer noch in folgender Weise hergerichtet ist. Das Thermometer, namentlich die Röhre, ist von sehr starkem Glas gefertigt; das Gefäss ist ausserdem noch von einer starken Glashülle umgeben, damit eine Kompression des Gefässes und dadurch erhöhter Stand des Thermometers ausgeschlossen ist. Der Raum zwischen dieser Hülle und dem Thermometergefäss ist zum Theil mit Alkohol gefüllt. Statt des Alkohol kann hier mit Vortheil Quecksilber verwendet werden, welches als bedeutend besserer Wärmeleiter die durch Umhüllung mit starken Glaswänden verursachte Trägheit des Thermometers vermindert.

Der Glaskörper des Instruments ist mit kupfernen Drahtschlingen auf einem Rahmen von Hartgummi befestigt, auf welchem die Porzellanskala festgeschraubt ist. Der obere und untere Theil des Thermometers wird durch aufgeschraubte Rahmentheile noch weiter gegen äussere Schädlichkeiten geschützt. Ein Kupfercylinder, welchen das Wasser oben und unten frei durchströmen kann, dient zur Aufnahme des ganzen Instruments nebst Rahmen. Dasselbe wird in den Cylinder fest eingeschoben; durch einen zusammengedrückten Gummipuffer *g* wird jeder Spielraum unschädlich gemacht.

Die Thermometer werden vom Verfertiger unter hohem Druck geprüft (3½ ton auf den Quadratzoll = 2500 Faden Tiefe). Die Behandlung der Miller-Casella-Thermometer erfordert einige Sorgfalt. Vor Allem muss vermieden werden, dass die Indexstifte in das Quecksilber eintauchen, ebenso dass diese Stifte nicht in die oberen Erweiterungen der Glasröhre eintreten, da es in beiden Fällen schwer, oft unmöglich wird, das Thermometer wieder gebrauchsfähig zu machen. Die erste Vorsichtsmassregel hiergegen ist, dass diese Thermometer immer in einer vertikalen Lage, die Gefässe nach oben, aufbewahrt und transportirt werden. Das Herabführen der Stifte auf die Quecksilberkuppen mittelst des Hufeisenmagneten muss aus demselben Grunde behutsam geschehen. Für den Transport sind die Stifte aufwärts zu verschieben, aber nicht zu nahe an die Gefässe heran. Damit die Hufeisenmagnete kräftig bleiben, müssen sie, wenn ausser Gebrauch, stets mit ihren Ankern montirt sein und trocken aufbewahrt werden.

Die häufig vorkommende Zertrennung des Quecksilberfadens lässt sich, so lange die Stifte über dem Quecksilber bleiben, durch Schütteln und Schwingen des Thermometers von oben nach unten beseitigen. Die Stifte müssen dabei immer vom Quecksilber fern gehalten werden.

Ein Erhitzen des Quecksilberfadens nutzt nichts zur Beseitigung von Störungen und ist zu vermeiden.

Für den Gebrauch werden die Thermometer, nachdem die Indexstifte eingestellt sind, in die Kupfercylinder geschoben und diese sorgfältig verschlossen. Ein seitliches Vibriren der Leine ist in Bezug auf das Verrücken der Indexstifte besonders schädlich, daher hatte man an Bord des

Challenger die Thermometer an Gummibändern und diese erst an der Lothleine befestigt.

Die Ablesung wird beim Aufholen des Thermometers sogleich an der Leine vorgenommen, während dasselbe noch aussenbords hängt, das Thermometer wird dann abgenommen und nochmals abgelesen.

Da das Instrument nur das Maximum und Minimum der Temperatur angiebt, so kann die Beobachtung unter Umständen nicht die wahre Temperatur der zu untersuchenden Wasserschicht anzeigen. Es ist dies z. B. bei Messung der Bodentemperatur der Fall, wenn dieselbe höher ist als die irgend einer andern Wasserschicht, welche das Instrument passirte. Ebenso kann der Fall eintreten, dass die Angabe der Temperatur in geringer Tiefe, welche höher gefunden wird als die der Luft, dadurch falsch ist, dass zwischen der Luft und der betreffenden Wasserschicht sich eine noch wärmere Schicht befindet. Man schützt sich in diesem Falle dadurch vor einer unrichtigen Angabe, dass man das Thermometer unmittelbar vor dem Niederlassen über die Temperatur des Oberflächenwassers erwärmt und nach dem Aufholen das Minimum abliest. Sigsbee giebt das folgende Beispiel einer wirklichen Messung im Golfstrom:

Temperatur der Luft	51°	Fahrenheit,
der Wasseroberfläche	71°	„
in 50 Faden Tiefe	63°	„
in 100 „ „	60½°	„
in 200 „ „	50°	„
in 700 „ „	39½°	„

Aus dem Vorhergehenden geht hervor, dass diese Tiefseethermometer mehrfach Mängel haben, zu welchen noch hinzukommt, dass die Befestigung derselben auf dem Rahmen immer etwa ¼° Spielraum hat und die Skalen selbst nicht immer fest genug mit dem Rahmen verbunden sind. Genauere Angaben als auf 0,5° C. lassen sich von den Instrumenten dieser Konstruktion kaum erwarten.

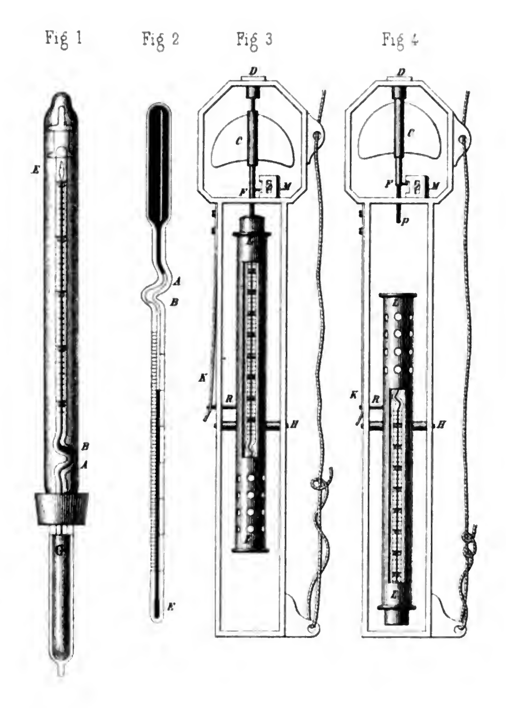
Indessen waren diese Thermometer bis in die neueste Zeit die einzigen, mit welchen sich Reihentemperaturen vornehmen liessen und welche in sehr grossen Tiefen einigermassen zuverlässige Resultate ergaben.

§ 75. Das Tiefseethermometer von Negretti und Zambra.

(Kippthermometer.) (Tafel X.)

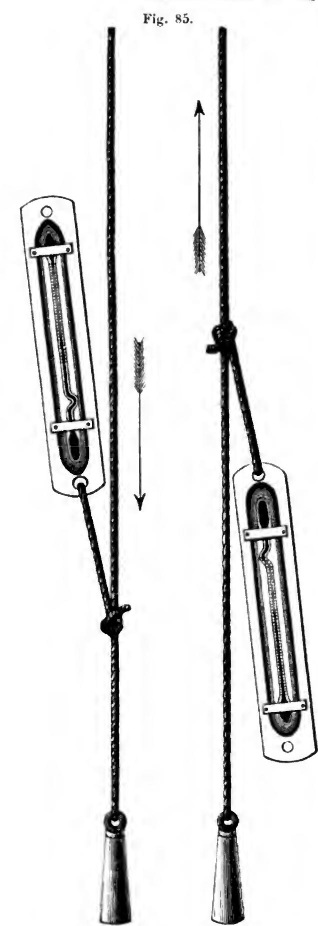
Dieses Thermometer ist ein Quecksilberthermometer mit luftleerer Röhre und cylindrischem Gefäss. Der Hals des Gefässes ist in eigenthümlicher Weise verengt, dann gebogen und die innere Röhre breit gedrückt (Tafel X, Fig. 1, 2 *A*). In der Biegung befindet sich über der breitgedrückten Stelle eine Erweiterung *B*. Infolge dieser Konstruktion reisst der Quecksilberfaden bei *A* ab, sobald man das Thermometer mit dem Gefäss nach oben hält. Am Ende der Thermometerröhre ist ein kleines

Negretti & Zambra Tiefseethermometer.



Seite 174

Fig. 85.



Reservoir *E*. Wenn das Thermometer mit dem Gefäss nach unten gehalten wird, so ist die Röhre ganz und noch ein Theil des Reservoirs *E* mit Quecksilber gefüllt. Die Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers kann in dieser Lage des Instruments nicht beobachtet werden. Dreht man nun das Thermometer um, so dass der Faden abreisst, so fällt der abgerissene Faden infolge seines Gewichts herab und füllt das Reservoir *E* ganz und einen Theil der Röhre aus. Für diese Stellung ist das Thermometer graduirt, und zwar ist die Skala auf der Röhre selbst angebracht und die Rückseite derselben weiss emaillirt, um die Ablesung deutlicher zu machen.

Das Thermometer zeigt also immer die Temperatur an für den Ort und die Zeit des Umkippens, die Ablesung kann beliebig später stattfinden, da das Quecksilberquantum des abgerissenen Fadens zu gering ist, um bei eintretender Temperaturänderung die Ablesung zu ändern. Das Quecksilber im Gefäss aber dehnt sich aus, wenn die Temperatur steigt. Es würde daher weiteres Quecksilber herabfallen, wenn nicht die Erweiterung bei *B* dasselbe aufnähme. So lange das Thermometer in vertikaler Lage mit dem Gefäss aufwärts bleibt, kann aus *B* kein Quecksilber herabfallen.

Um das Thermometer gegen Druck zu schützen, ist es in

eine starke Glasröhre eingeschmolzen. Damit es durch diese Schutzröhre nicht träge gemacht wird, ist der Theil derselben, welcher das Gefäss umgiebt, *g* (Fig. 1), abgeschlossen und zum Theil mit Quecksilber gefüllt, welches letztere die Wärme schnell auf das Quecksilbergefäss hinüber zu leiten bestimmt ist.

Versuche haben ergeben, dass die Thermometer dieser Konstruktion empfindlicher sind als diejenigen nach Sixs System.

Die Vorrichtung, um das Thermometer in beliebiger Tiefe umzukehren, besteht in Folgendem: Ein Holzrahmen, in welchem das Thermometer eingeklemmt wird, besteht aus einem länglichen Kasten (Fig. 85). Dieser Kasten ist zum Theil mit Schrot gefüllt, so dass der Kasten im Wasser eben schwimmt und sich die Schrotkörner frei von einem nach dem andern Ende bewegen können. An jedem Ende des Rahmens befindet sich eine Durchbohrung. Zum Gebrauch wird ein Stropp durch die Durchbohrung am Gefäss genommen und das Instrument damit an der Lothleine befestigt. Beim Hinablassen des Loths wird das Thermometer mit dem Gefäss nach unten nachgezogen, beim Aufholen aber mit dem Gefäss nach oben. Das Thermometer zeigt daher die Temperatur für die Tiefe an, von welcher es heraufgeholt worden ist.

Das Loch an der andern Seite des Rahmens dient dazu, das Thermometer in aufrechter Stellung zu erhalten, bis es in das Wasser taucht. Dazu scheert man eine Leine hindurch und hält beide Enden in der Hand, bis der Apparat im Wasser ist. Dann lässt man ein Ende los und holt die Leine ein.

Das erste Aufwärtsholen der Lothleine muss schnell und ruckweise geschehen, damit man sicher ist, dass sich der Apparat wirklich umgedreht hat. Das Aufholen muss ohne Unterbrechung vor sich gehen, weil sonst durch Abtreiben des Instruments von der Leine eine horizontale Lage und damit Aenderung der Einstellung eintreten kann.

Die beschriebene Form des Rahmens ist nur für Tiefen bis etwa 1000 Faden geeignet, da der Druck in grösseren Tiefen den Holzkasten zerstört. Um starke und leichte Rahmen herzustellen, hat man Metallrahmen, gefüllt mit Paraffin, in Vorschlag gebracht.

Eine nach Angabe des Kapitän Magnaghi neuerdings von Negretti und Zambra konstruirte Vorrichtung zur Aufnahme dieser Tiefseethermometer sichert das Funktioniren der Instrumente und eignet sich für grössere Tiefen, namentlich auch zur Ermittelung einer Reihe von Temperaturen in verschiedenen Tiefen. Dieser Apparat (Tafel X, 3, 4) besteht aus einem metallenen Rahmen, in welchem sich die gleichfalls metallene Thermometerhülse *L* um die Axe *H* dreht. *C* ist ein Flügel, dessen Axe sich im Lager *D* dreht und unten in eine Schraube *P* von ungefähr ½ Zoll (1,3 cm) Länge endigt. Zwischen dem Flügel und der Schraube befindet sich an der Spindel ein Stift *F*. *M* ist eine etwas verschiebbare Klampe, gegen deren unteren Vorsprung der Stift *F* anstösst, wenn der

Apparat zum Gebrauche adjustirt ist. In der Hülse L befindet sich eine Mutter für die Spindel P, in welche diese mehr oder weniger tief eingeschraubt werden kann, je nachdem man die Klampe M ab- oder aufwärts schiebt. Die eingeschraubte Spindel hält die Thermometerhülse in aufrechter Stellung, so lange der Apparat hinabgelassen wird (Fig. 4). Holt man denselben aber aufwärts, so geräth der Flügel C in Rotation und dreht allmählich die Schraubenspindel aus ihrer Mutter, worauf sich die Hülse L, weil ihre Drehungsaxe unterhalb ihres Schwerpunktes liegt, herumdreht und das Thermometer die Temperatur registrirt (Fig. 5). Während man den Apparat durch eine Strecke von ungefähr 10 engl. Fuss (3 m) aufwärts holt, vollendet der Flügel eine Umdrehung, und wenn man ihn 70 oder 80 Fuss aufwärts geholt hat, ist die Schraube ganz aus ihrer Mutter herausgeschraubt, wenn sie vorher ganz eingeschraubt war. Es muss also der Apparat vor dem Hinablassen entsprechend adjustirt werden, wie weit das Thermometer aufgeholt werden soll, ehe es sich herumdreht. Steigt der Apparat einige Fuss aufwärts, was durch die Bewegung des Schiffes, Seegang oder Unterbrechung des Hinablassens, um andere Thermometer an der Leine zu befestigen, verursacht werden kann, so dreht der Flügel während des hierauf folgenden Hinablassens die Schraube wieder abwärts, bis der Stift F wieder in seine Anfangsstellung gelangt. Diese auf- und abwärts stattfindende Bewegung des Apparats kann sich häufig wiederholen, ohne die Registrirung der Temperatur zu beeinflussen, so lange die aufwärts gehende Bewegung nicht so gross wird, dass der Flügel die Hülse von der Schraube löst. Hat sich die Hülse L herumgedreht, so drückt die Feder K den Stift R in einen an der Hülse befindlichen Schlitz, wodurch ein wiederholtes Umkehren der Hülse ausgeschlossen ist. Die Hülse ist mit Löchern versehen, welche dem Wasser freien Eintritt in dieselbe gestatten.

§ 76. Graphische Darstellung der Reihentemperaturen.

Die Resultate der Temperaturmessungen werden sogleich nach Ablesung der Thermometer in einer Kurve graphisch dargestellt. Auf dazu mitgegebenem, nach Millimetermass quadrirtem Gitterpapier werden die Tiefen als Ordinaten und die Temperaturen als Abscissen eingetragen und die beobachteten Werthe zu einer Kurve verbunden. Sollten sich in dieser Kurve Sprünge finden, so ist es nöthig, die abweichenden Tiefentemperaturen nochmals zu messen, da Störungen in dem Funktioniren der Thermometer eher vorausgesetzt werden müssen als unregelmässige Tiefentemperaturen.

Die Temperaturen und Tiefen aller Beobachtungsorte einer Ueberfahrt werden in Diagramme zusammengestellt, welche die Tiefen und zurückgelegten Entfernungen als Koordinaten aufweisen.

Ein solches Diagramm stellt dann die allgemeinen Bodenverhältnisse und die Isothermen für den durchkreuzten Meerestheil dar.

Tafel XI, Fig. 1 zeigt die Kurve, welche sich aus Bestimmung von Reihentemperaturen an Bord S. M. S. Gazelle in 0° 5′ S-Br und 132° 29′ O-Lg ergab. Im Diagramm, Fig. 2, ist das Resultat der, von 132½° bis 151° O-Lg auf dem Aequator oder, wenig davon abweichend, vom genannten Schiffe vorgenommenen Temperaturbestimmungen.

§ 77. Apparate zum Wasserschöpfen.

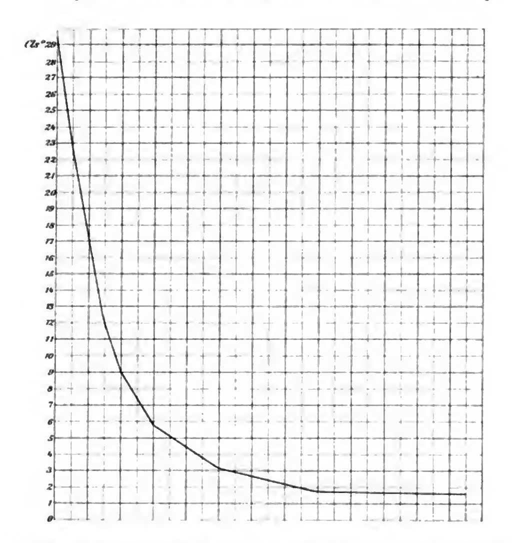
Neben der Bestimmung der Temperatur ist es nöthig, das specifische Gewicht und die chemische Zusammensetzung des Seewassers in verschiedenen Tiefen zu bestimmen. Dazu ist es erforderlich, eine Wasserprobe an die Oberfläche herauf zu befördern, von der man sicher ist, dass sie der gemessenen Tiefenschicht angehört und sich nicht beim Aufholen mit anderem Wasser vermischt hat.

Fig. 86.

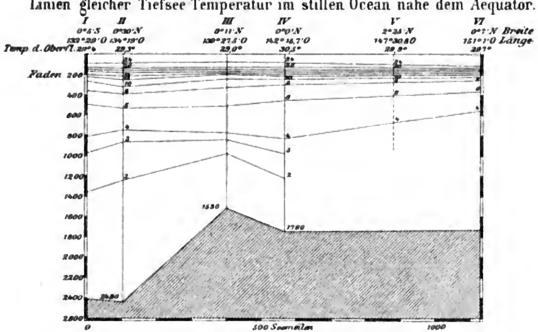
Für ganz geringe Tiefen, z. B. an den Küstenstationen in der Ostsee, hat man es ausreichend gefunden, verkorkte Flaschen mit einem Loth hinabzulassen und in der Tiefe, aus welcher man die Probe zu haben wünscht, den Kork durch eine aus der Figur 86 ersichtliche Ausrückvorrichtung herauszuziehen. Die Flasche füllt sich dann mit Wasser, und wenn sie schnell in aufrechter Stellung an die Oberfläche gebracht werden kann, so wird die in der unteren Wasserschicht eingetretene Füllung sich sehr nahe als unvermischt mit anderem Wasser ansehen lassen. Für beschränkte Lokaluntersuchungen einer Meeresbucht, eines Binnengewässers etc. wird dieses einfache Hülfsmittel stets gern benutzt werden. Für grössere Tiefen sind aber anders konstruirte Apparate nothwendig, welche namentlich volle Sicherheit für den Abschluss des geschöpften Wassers gegen Vermischung gewähren.

Von den verschiedenartigen in Verwendung befindlichen Wasserschöpfapparaten werden im Folgenden einige beschrieben werden, welche im Princip ganz von einander abweichen, nämlich der deutsche von Meyer, der englische von Buchanan und der amerikanische von Sigsbee. Der Meyersche Apparat hat die einfachste Konstruktion und ist namentlich praktisch, wenn Wasserproben vom Grunde heraufgeholt werden sollen. Der Buchanansche Apparat hat sich für zwischenliegende Tiefen an Bord des Challenger gut bewährt, der Sigsbeesche Apparat ist für Reihenbeobachtungen in Verbindung mit den Temperaturmessungen bestimmt

Temperatur-Kurve am 26. Juni 1875 in 0° 5' S Br. und 132° 29' O Lg.

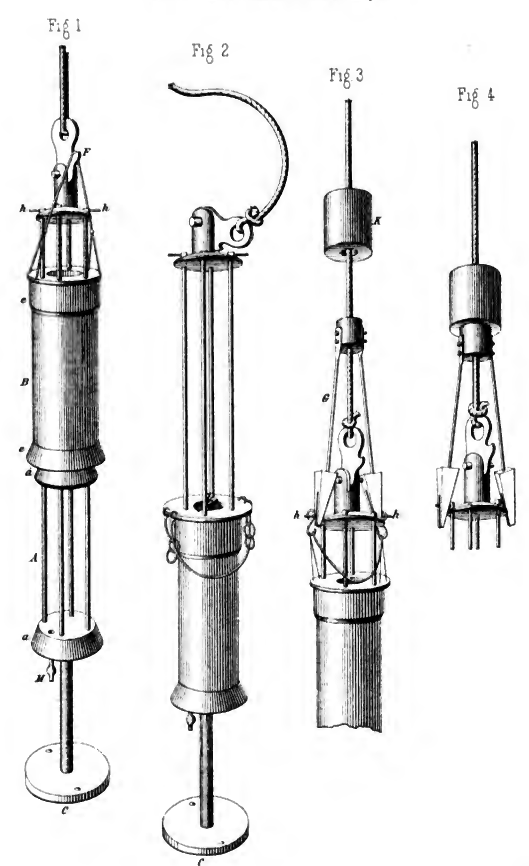


Linien gleicher Tiefsee Temperatur im stillen Ocean nahe dem Aequator.



Geogr. lith. Inst. u. Steindr. v. W. Greve, Kgl. Hoflith. Berlin

Wafserschöpf-Apparat nach Meyer.



und dementsprechend besonders leicht konstruirt und in geringer Grösse angefertigt.

Zum Schluss wird der für geringe Tiefen bestimmte Apparat von Ekman noch Erwähnung finden.

§ 78. Der Wasserschöpfapparat von Meyer. (Tafel XII.)

Der Apparat besteht im Wesentlichen aus einem Messingcylinder, welcher mittelst Auslösevorrichtung oben und unten von Metallplatten mit konischen Randflächen verschlossen wird.

Der ganze Apparat ist in Messing ausgeführt. Der untere Theil *A* desselben besteht aus zwei Platten *aa* mit konischen Randflächen, welche durch vier starke Rundstäbe in festem Abstande mit einander verbunden sind. Unter die untere Platte ist ein eiserner Untersatz *C* eingeschraubt, um das Aufstossen des Apparates auf Steine unschädlich zu machen oder das Einsinken in den Schlamm zu verhüten. An diesem Untersatz wird je nach der zu untersuchenden Tiefe ein leichteres oder schwereres Loth befestigt.

Der untere Theil *A*, der beim Niedersinken des Apparates dem Zutritte des Wassers kein Hinderniss bietet, kann nun, sobald Wasser in einer bestimmten Tiefe geschöpft werden soll, durch die nachher zu beschreibenden Einrichtungen vermittelst eines cylindrischen Mantels *B*, der bei *ee* genau auf die konischen Flächen der Platten *aa* passt, abgeschlossen werden. Das im Raume von *A* beim Abschluss gerade befindliche Wasser wird dann beim Aufholen in die Höhe gebracht, da der schliessende Cylindermantel *B* sich durch sein eigenes Gewicht in seiner Lage erhält.

Entweder soll mit Hülfe des Apparates Wasser vom Grunde geschöpft werden oder aus irgend einer mittleren Tiefe. In diesen beiden Fällen werden verschiedene Hülfsmittel verwendet, um den Abschluss von *A* durch den Mantel *B* herbeizuführen.

Wenn das Wasser vom Grunde gehoben werden soll, wird der Mantel *B* beim Niedersenken mittelst einer Schnur an den Haken *F* gehängt (Fig. 1). Dieser Haken lässt nach der Art des Brookeschen Lothes die Schnur abgleiten, sobald die Leine, an welcher der Apparat hinabgelassen wird, nicht mehr durch das Gewicht desselben straff gespannt ist; der Mantel *B* fällt daher abwärts und schliesst die konischen Ventilplatten *aa* (Fig. 2).

Will man dagegen Wasser aus mittleren Tiefen schöpfen, so wird der Mantel *B*, statt an dem Haken *F*, jetzt an den beiden Zapfen *hh* mittelst dünner Schnüre und Oesen aufgehängt und sodann die elastische Gabel *G* mit ihren Endspitzen eben an der Innenseite dieser Oesen auf dieselben Zapfen gestellt (Fig. 3). Nachdem nun der Apparat in die gewünschte

Tiefe hinabgesenkt ist, lässt man das Gewicht *K* auf der Leine, an welcher der Apparat befestigt ist, hinabgleiten. Sobald *K* die Gabel trifft, spreizt sich dieselbe und schiebt dadurch die Schnüre von den Zapfen ab (Fig. 4), wodurch *B* befreit wird und über *A* hinabfällt. Sobald der gefüllte Apparat aufgewunden ist, öffnet man, um ihn zu entleeren, das kleine Luftventil *L* und zapft dann aus dem Hahn *M* das Wasser ab.

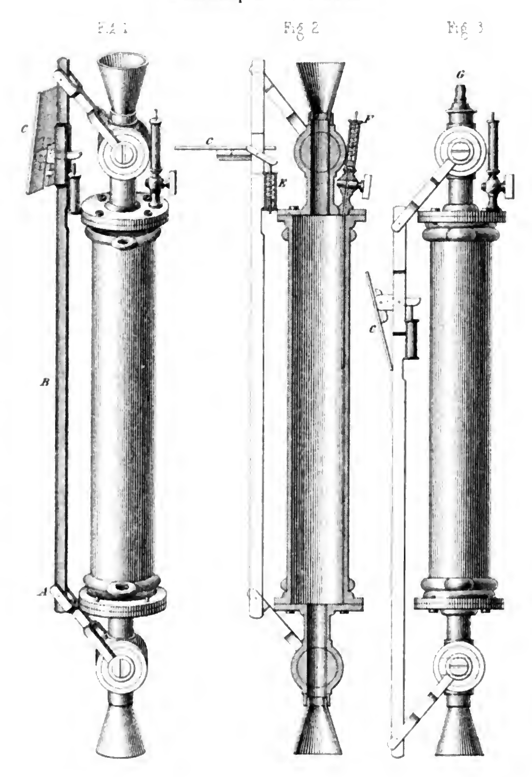
§ 79. Der Wasserschöpfapparat von Buchanan. (Tafel XIII.)

Dieser Apparat besteht aus einem starken Messinggefäss mit je einer Verengung und becherförmigen Oeffnung an beiden Enden. Beide Oeffnungen werden durch Hähne gleichzeitig mittelst eines Hebelsystems *A B* geöffnet und geschlossen. An der Verbindungsstange *B* ist eine Metallplatte *C* auf einem Hebel *D* beweglich. Fig. 1 zeigt den Apparat mit geöffneten Hähnen, wie sie zum Hinunterlassen eingestellt werden, und die Platte *C* durch den Gegendruck des Wassers in die Höhe geklappt. Sobald die niedergehende Bewegung innehält, klappt die im labilen Gleichgewicht befindliche Platte *C* um (Fig. 2) und greift mit einer Nase unter einen kleinen zweiarmigen Hebel, welcher durch die Spiralfeder *E* so auf die Nase der Platte niedergehalten wird, dass die Platte *C* dem vollen nun abwärts gerichteten Wasserdruck ausgesetzt bleibt. Dieser Druck schliesst durch Abwärtsbewegung der Stangen *B* die Hähne des Gefässes. Bei verstärktem Druck wird darauf die Spiralfeder *E* zusammengedrückt, die Nase schlippt von dem Doppelhebel frei und die Platte *C* klappt hinunter, so dass der Apparat in der Stellung Figur 3 an die Oberfläche gelangt. Der Apparat ist ferner mit einem Ventil *F* versehen, welches dem unter grossem Druck eingefüllten Wasser einen Abfluss gestattet. Ausserdem ist eine Mundverschraubung *G* auf den oberen Becher aufgeschraubt (Fig. 3) zur bequemeren Entleerung des Wasserschöpfers.

§ 80. Der Wasserschöpfer von Sigsbee. (Tafel XIV.)

Diese Konstruktion ist hervorgegangen aus der ursprünglichen Anordnung von selbstthätigen Ventilen an Wasserschöpfern, wie sie bei älteren Apparaten angewendet war. Diese älteren Wasserschöpfer bestehen aus einem cylindrischen Gefäss mit je einem flachen Klappenventil oben und unten. Beim Hinunterlassen des Apparates werden beide Ventile durch den Wasserdruck offen gehalten, beim Aufholen ebenso niedergedrückt und geschlossen. Es ist also Voraussetzung, dass das Aufholen ohne Unterbrechung schnell vor sich geht, und damit ist, ebenso wie bei den Kippthermometern, die Verwendung mehrerer Apparate an einer Leine ausgeschlossen, weil beim Abnehmen der successiven an die Oberfläche gelangenden Gefässe nothwendig Unterbrechungen stattfinden.

Wasserschöpfer nach Buchanan.



Kleiner Wafserschöpfer nach Sigsbee zur gleichzeitigen Erlangung einer Reihe von Wafserproben aus verschiedenen Tiefen.

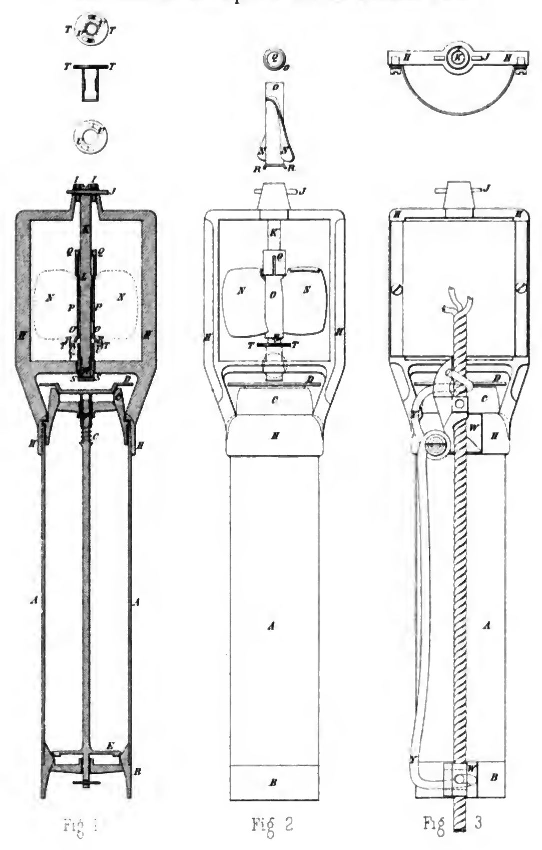


Fig 1 Fig 2 Fig 3

Das Princip des Sigsbeeschen Apparates, welches auch schon früher von Brooke in ähnlicher Weise in Anwendung gebracht worden ist, besteht nun darin, dass eine zweiflügelige Schraube durch den der Aufholbewegung entgegengerichteten Wasserdruck in Bewegung gesetzt wird und das Ventil zuschraubt. Dieses Princip ist in folgender Weise zur Ausführung gebracht.

Ein Messingcylinder *A*, dessen Wandstärke nur so stark bemessen ist, dass oben und unten ein Schraubengewinde eingeschnitten werden kann, enthält oben und unten je ein Ventillager *B* und *C*. Die beiden Ventile *D* und *E* sind durch eine Stange verbunden; eine Verschraubung *F* mit gegenwirkender Feder *G* gestattet eine feine Korrektur ihrer Auseinanderstellung. Alle diese Theile müssen aus demselben Metall gefertigt sein, damit nicht verschiedene Temperaturausdehnung den Verschluss der Ventile unsicher macht. Auf diesen Cylinder ist ein offener Rahmen *H* aufgeschraubt, in welchem die zweiflügelige Schraube *NO* aus Neusilber auf die feste Axe *K* gestreift ist.

Eine Kappe *Q* und eine Verengung bei *R* hat den Zweck, Sand und Schmutz von dem Schraubengewinde bei *L* und *P* fern zu halten.

Wenn der Apparat hinabgelassen wird, sind die Ventile durch den Wasserdruck nach oben geöffnet. Die untere Schraubenkappe *T* ist ganz hinaufgeschraubt, so dass das Gewinde *M* ausgekuppelt ist, und die zweiflügelige Schraube *NO* ist an dem Gewinde *L* ebenfalls ganz hinaufgeschraubt, so dass die Kappe *Q* gegen die Platte *J* reibt und der Propeller ausgekuppelt rotirt.

Sobald nun der Apparat aufgeholt wird, werden die Ventile durch den Wasserdruck nach unten geschlossen, und der Propeller schraubt sich an der festen Axe *K* hinab, indem das Gewinde *P* in das Gewinde *L* eingreift. Sobald das Gewinde *L* ganz passirt ist, kuppelt die Schraube aus und greift mit den Nasen *R* in die Nuten *U* des Kopfes *T*.

Das Gewinde dieser unteren Schraubenkappe greift in das Gewinde bei *M* ein, und mit Hülfe des Propellers wird an diesem Gewinde die Schraubenkappe bis auf das obere Ventil hinuntergeschraubt und so der Verschluss sichergestellt. Ein Emporschrauben der Kappe kann nicht stattfinden, da die Nasen *R* bei Linksdrehung aus den Nuten heraustreten. Wenn der Cylinder geöffnet werden soll, wird der Propeller zuerst ganz hinaufgeschraubt und dann ebenso die Kappe, welche zu diesem Zweck bei *T* einen gereifelten Rand hat.

Die Steigung der Schraube kann derartig angeordnet werden, dass 25 oder 50 Faden Aufwärtsbewegung zum Schliessen der Ventile erforderlich sind. Nach der gewählten Regulirung richtet sich die Tiefe, in welcher der oberste Apparat an der Leine befestigt werden darf, denn das Aufholen kann nicht eher eine Unterbrechung erleiden, als bis die Ventile sämmtlicher Apparate geschlossen sind.

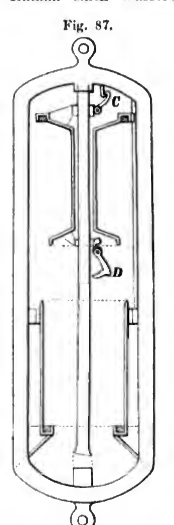
Die Befestigung an der Leine erfolgt in derselben Weise, wie von Sigsbee für die Tiefseethermometer vorgeschlagen, durch stählerne Klemmfedern *WXY*. Die Grösse des Cylinders kann in der Länge variiren, je nachdem man viel oder weniger Wasser heraufbefördern will, der Durchmesser bleibt dabei auf 2,5 Zoll beschränkt.

Die von Sigsbee vorgeschlagenen Apparate halten 22 Kubikzoll Wasser. Es waren aber auch nach demselben Princip konstruirte in Gebrauch, welche 57 Kubikzoll Wasser enthielten; dieselben wogen 6½ Pfund.

§ 81. Der für Wärme isolirte Wasserschöpfer von Ekman.

Für das Heraufholen von Wasserproben aus Tiefen bis 200 m hat Ekman einen Wasserschöpfer konstruirt, welcher Wasser zu liefern bestimmt ist, nicht nur zur Untersuchung des Salzgehalts und der Luft im Seewasser, sondern auch für Messung der Tiefen-Temperatur.

Fig. 87.



Die folgende Beschreibung ist im Wesentlichen eine Wiedergabe der von Ekman selbst gegebenen:

Ein rechteckiger Rahmen von geschmiedetem Eisen mit vier starken horizontalen Eisenbändern dient zur Befestigung der übrigen Theile und schützt dieselben gegen Stösse; das Eisen ist stark verzinnt und zeigt zum Rosten keine Neigung. Zwei starke Stahlfedern, unter dem Rahmen befestigt, hindern Stösse gegen den Boden. Im unteren Theile des Rahmens ist der Cylinder unbeweglich befestigt. Dieser Cylinder wird, wenn der Apparat hinabgesenkt wird, vom Wasser durchströmt. Der Theil dagegen, der Deckel und Boden des Gefässes bilden soll, ist hier längs einer einzigen, central befestigten Stange in vertikaler Richtung beweglich und oben mit einer horizontalen Messingscheibe versehen, die ihn am Fallen hindert, wenn das Instrument ins Wasser hinabsinkt.*) Der bewegliche Theil wird, wenn das Instrument ins Wasser gesenkt werden soll, an einem Haken *C* (Fig. 87) aufgehängt. Sobald der Apparat zu sinken beginnt, wird der obere Theil vom Auftrieb des Wassers gehoben, der Haken fällt zurück, und der obere Theil kann nun

*) In Betreff der scheinbar grossen Schwere dieses beweglichen Theiles mag daran erinnert werden, dass diese hauptsächlich von der Guttapercha-Bekleidung, die ein geringes specifisches Gewicht hat, abhängt.

ungehindert fallen, sobald die Abwärtsbewegung des Instruments aufhört. Wenn der obere Theil gefallen ist, wird er durch einen starken Haken *D* in dieser Stellung festgehalten.

Durch einen Schraubenkopf kann die centrale Stange etwas verschoben und dadurch zu dem Haken, der den beweglichen Theil festschliesst, in eine passende Stellung gebracht werden. Der bewegliche Theil hat unten eine scharfe Messingkante, die an eine Kautschukplatte anschliesst. Die obere Dichtung wird durch eine grosse Kautschukplatte bewirkt, die unmittelbar unter der Messingscheibe, die den beweglichen Theil im Wasser trägt, befestigt ist. Wenn das Instrument heraufgezogen wird und sich dabei schliesst, legt sich diese Kautschukplatte an den oberen, breiten Rand des Cylinders dicht an, indem das Wasser durch die grossen Löcher der Messingscheibe gegen die Kautschukplatte wirkt.

Sowohl der feste Cylinder wie der bewegliche Theil sind mit einer 2¼ cm dicken Guttaperchaschicht derartig bekleidet, dass zwischen dem im Apparate eingeschlossenen Wasser und dem ausserhalb befindlichen keine namhafte Wärmeleitung durch die metallischen Theile stattfindet. Zwar ist der obere Rand mit einer dünnen Messingplatte belegt, damit die Kautschukplatte gegen eine vollkommen ebene Fläche anschliesst. Die Wärmeleitung, die hier durch das Messing stattfinden kann, wird aber unbedeutend, da die dicke Guttaperchabekleidung des beweglichen Theiles sich an die des Cylinders hier nahe anschliesst. Dasselbe Verhältniss findet im unteren Theile des Gefässes statt, wo ausserdem ein besonderer Kautschukring, der sich an einen Absatz der Guttaperchabekleidung des Cylinders anlegt, die Wärmeleitung noch mehr vermindert.

Guttapercha ist infolge seiner physikalischen Eigenschaften für den in Frage stehenden Zweck besonders geeignet. Wenn ein dünnes Metallgefäss, mit einer nur 1,2 cm dicken Guttaperchaschicht überzogen und, mit 1100 ccm Wasser von + 16° gefüllt, in Wasser von 0° gesenkt wurde, so veränderte sich die Temperatur des Wassers im Gefäss nicht merkbar in drei Minuten, und nach 5 Minuten hatte sie sich noch nicht um 0,1° C. verändert. Der Guttapercha-Ueberzug des Wasserschöpfers ist doppelt so dick (2,5 cm).

Vergleichende Versuche mit dem Miller-Casella-Thermometer in einer Tiefe von 200 m im Skagerrak bestätigten die Anwendbarkeit des Apparats zu Temperaturbestimmungen. Derselbe ist auch später von Nordenskjöld und Mohn in Gebrauch genommen und hat sich gut bewährt. Nur in einem Falle, hebt Ekman hervor, scheint der Apparat auch in geringen Tiefen nicht geeignet zu sein, nämlich wenn man Grund zu der Annahme hat, dass unter den Gefrierpunkt abgekühltes Wasser in der Tiefe vorhanden sein kann; in diesem Falle muss man sich wenigstens davon überzeugen, ob Eisbildung im Wasserschöpfer stattgefunden hat oder nicht.*)

*) Aus dem schwedischen Theil des Katalogs der Fischerei-Ausstellung zu Berlin 1880.

Fig. 87 giebt eine schematische Darstellung dieses Apparats. Die Dichtung und die Isolirung durch Guttapercha ist in derselben nicht erkennbar gemacht.

§ 82. Aräometer.

Die gebräuchlichsten Instrumente zur Bestimmung der Dichtigkeit des Seewassers beruhen auf Beobachtung der Eintauchungstiefe eines unten beschwerten schwimmenden Glaskörpers. Da das Gewicht des durch den Glaskörper verdrängten Wassers immer gleich dem des Glaskörpers ist, so wird also das Volumen einer konstanten Gewichtsmenge Wasser gemessen. Diese Instrumente heissen daher auch zuweilen Volumeter (in England Hydrometer).

Die Glasaräometer bestehen aus einem weiten Glascylinder, welcher dem Instrument die nöthige Schwimmfähigkeit giebt, um das für genau vertikale Schwimmlage nöthige Gewicht zu tragen, und einer dünnen Glasröhre darüber, welche die Dichtigkeitsskala trägt. Das Gewicht besteht entweder aus Quecksilber oder Metallkörnern, welche in einer unten an den Cylinder angeschmolzenen Kugel enthalten sind.

Je feinere Angaben man mit dem Instrument erhalten will, desto dünner muss die Glasröhre mit der Skala sein. Daraus ergiebt sich die Nothwendigkeit, entweder sehr lange Glasröhren zu benutzen oder die Anwendung ein und desselben Instruments auf sehr kleine Dichtigkeitsdifferenzen zu beschränken.

Die Dichtigkeit des Seewassers variirt von 1 bis etwa 1,040. Unbeeinflusst von lokalen Umständen schwankt dieselbe auf offenem Ocean um sehr geringe Beträge, welche $\frac{1}{1000}$ kaum übersteigen, wenn die Beobachtungen an Proben von gleicher Temperatur angestellt werden. Die Temperatur des Wassers aber beeinflusst die Dichtigkeit so, dass etwa $\frac{1}{5000}$ Dichtigkeitsänderung einem Grade Celsius entspricht (vergl. die Tabelle am Schluss dieses Abschnitts). Zur Erforschung der Schwankungen des specifischen Gewichts ist es also nothwendig, dass die Aräometer Ablesungen der vierten Decimale gestatten und dass gleichzeitig die Temperatur auf halbe Grade bestimmt wird. Unter Berücksichtigung der Instrumenten- und Ablesefehler wird man dann auf Bestimmung der Dichtigkeit innerhalb drei bis vier Einheiten der vierten Decimale rechnen können.

Demgemäss sind die Aräometer zur Bestimmung der Dichtigkeit des Seewassers wie folgt eingerichtet:

1. Für die laufenden Beobachtungen, welche in dem meteorologischen Journal Aufnahme finden sollen, sind Aräometer mit Theilstrichen von 2 zu 2 Zehntausendtheilen üblich, so dass die Einheit der vierten Decimale geschätzt werden kann. Diese Theilung ist auf einer Glasspindel innerhalb der Grenzen 1,0220 bis 1,0290 ausgeführt. Neben diesem Aräometer befindet sich noch ein zweites in demselben Aufbewahrungskasten, welches

von 1,0 bis 1,040 in Tausendtheile graduirt ist, also etwa noch halbe Tausendtheile zu bestimmen gestattet.

Dies ist in der Regel für Dichtigkeiten ausreichend, welche über die Angaben des ersten Instruments hinausgehen, da die genauere Erforschung dieser von lokalen Verhältnissen beeinflussten Dichtigkeiten nicht in den Rahmen regelmässiger Reisebeobachtungen der Schiffe fällt. Ferner gehört zu diesem Aräometerbesteck ein Thermometer, in halbe Grade Celsius getheilt, und ein Glasgefäss von zwei- bis dreifachem Durchmesser des Aräometercylinders.

2. Stations-Aräometerbestecke werden ebenso getheilt von 2 zu 2 Zehntausendtheilen. Für je 5 Tausendtheile ist ein besonderes Aräometer bestimmt, also von 1,0000 bis 1,0050, 1,0050 bis 1,0100 u. s. f. Die Anzahl und Auswahl der einen Satz bildenden Aräometer richtet sich nach den auf der Station zu erwartenden Dichtigkeitsextremen.

3. Normal-Aräometerbestecke und solche zu wissenschaftlichen Beobachtungen aus Sätzen von 10 Instrumenten, deren jedes über 3 Tausendtheile reicht und für Zehntausendtheile getheilt ist. Da die Instrumente nur innerhalb einer Fehlergrenze von 0,0001 verificirt werden und die Reduktion für Temperatur darüber hinaus illusorisch wird, so ist eine weitere Schätzung der fünften Decimale nutzlos. Die Theilung bezieht sich bei allen Instrumenten auf eine Temperatur des Wassers von 17,5° C.

Die Beobachtung wird in folgender Weise angestellt. Das Aräometer wird trocken abgewischt und in das Gefäss mit der zu untersuchenden Wasserprobe so eingesenkt, dass es nicht die Wände des Gefässes berührt und dass sich keine Luftblasen an dem Instrument festsetzen. Die letzteren lassen sich durch Schütteln leicht entfernen. Gleichzeitig mit dem Aräometer wird ein Thermometer eingetaucht. Wenn die Instrumente einige Zeit eingetaucht gestanden haben — etwa 5 Minuten, damit man sicher ist, dass das Glas derselben die Temperatur des umgebenden Wassers angenommen hat —, liest man den Theilstrich ab, mit welchem die Wasseroberfläche abschneidet. Man erhält eine scharfe Ablesung, wenn man von unten her gegen die Wasserfläche beobachtet. Gleichzeitig liest man die Temperatur ab. Wenn das Schiff sich heftig bewegt, ist es nicht möglich, eine genaue Ablesung zu erhalten; in diesem Fall muss entweder die Beobachtung überhaupt unterbleiben oder das zu untersuchende Wasser in einem reinen Gefäss verschlossen aufbewahrt werden, bis die Umstände einer genauen Beobachtung günstig sind.

Die Reduktion der beobachteten Dichtigkeit auf die der Instrumententheilung zu Grunde gelegte Temperatur 17,5° C. geschieht nach Tabellen, welche als Argumente die Temperatur und die beobachtete Dichtigkeit haben. Die am Schluss dieses Abschnitts abgedruckten Tabellen III und IV sind den Tafeln zur Berechnung der Beobachtungen an den Küstenstationen von Prof. G. Karsten entnommen. Diese Tabellen sind für Reduktion der deutschen Aräometer-Beobachtungen allgemein im Gebrauch.

Die Schwierigkeit genauer Ablesungen am Aräometer an Bord eines Schiffes hat zu der Konstruktion des optischen Dichtigkeitsmessers von Hilgard *) geführt.

Derselbe beruht auf der Bestimmung des Brechungswinkels des Seewassers, welches zu diesem Zweck in ein hohles Glasprisma eingefüllt wird. Dieses Glasprisma wird zwischen eine homogene Lichtquelle und ein Fernrohr mit Mikrometer gebracht. Das Licht ist durch ein geschwärztes Diaphragma zu einer vertikalen Linie abgeblendet, deren Lage im Fernrohr man mittelst des Mikrometers einstellt. Diese Einstellung lässt aus einer empirisch festgestellten Tabelle die Dichtigkeit der Flüssigkeit entnehmen. Die Versuche mit diesem Instrument sind noch nicht als abgeschlossen zu betrachten.**)

§ 83. Schleppsäcke und Schleppleinen.

Die Untersuchung des Meeresbodens ist ein nicht unwesentlicher Theil der oceanischen Forschung. Wenngleich die Resultate des Schleppens mit Grundnetzen in erster Linie ferner liegenden Zweigen der Naturwissenschaft zu Gute kommen, so fällt die Handhabung der Apparate und die Anordnung der Arbeiten doch ausschliesslich denselben Personen zu, welche die Lothungen und rein oceanischen Untersuchungen leiten, und kann daher hier nicht ganz übergangen werden.

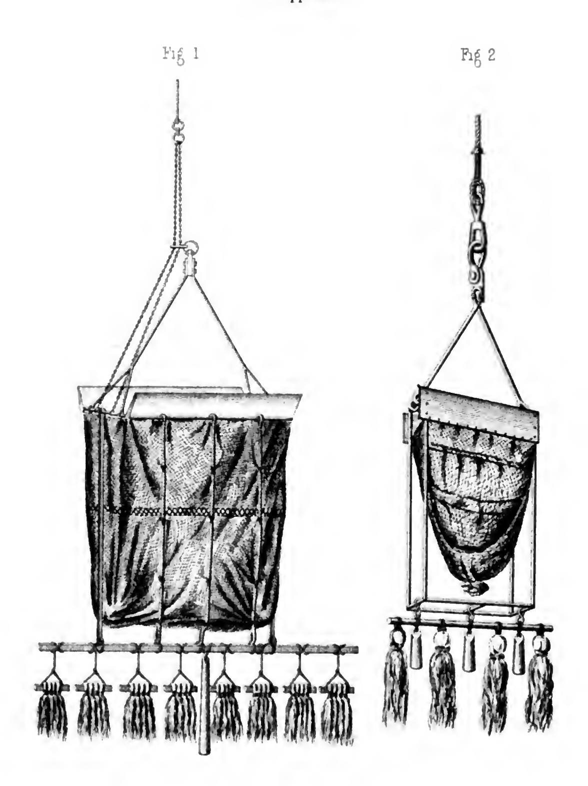
Schleppsäcke werden in sehr verschiedenen Grössen und Stärken angefertigt. Taf. XV *a*, Fig. 1 u. 2, zeigt verschiedene Formen derselben. Durchweg ist der eiserne Rahmen derselben mit scharfen, um etwa 10° geneigten messerförmigen Rändern versehen, um, auf dem Boden entlang gezogen, denselben gleichsam abzuschrapen und die abgeschrapten Bodentheile in den Sack gleiten zu lassen, welcher entweder aus Segeltuch oder starkem Netzwerk mit engen Maschen gefertigt ist. Im letzteren Falle ist um dieses Netzwerk noch eine hinten offene Schürze am Rahmen erforderlich, welche das Netz gegen Beschädigungen schützt, wenn es über den Meeresboden entlang geschleift wird. Damit sich der vordere schwere Theil mit den Schneiden nicht zu tief in den Grund eingräbt und dann grosse Bodentheile und weniger Oberflächenproben in den Sack einfüllt, wendet man mit Vortheil einen eisernen Rahmen an, welcher mit starken Eisenbügeln den ganzen Sack in rechteckiger Form umschliesst.

Hinter dem Sack wird eine eiserne, mit Lothen beschwerte Querstange nachgeschleppt, an welcher eine Reihe Tauschwabber befestigt ist zur Aufnahme von zarten am Meeresboden sich findenden Organismen.

*) Report of the United States coast survey 1877, Appendix 10.

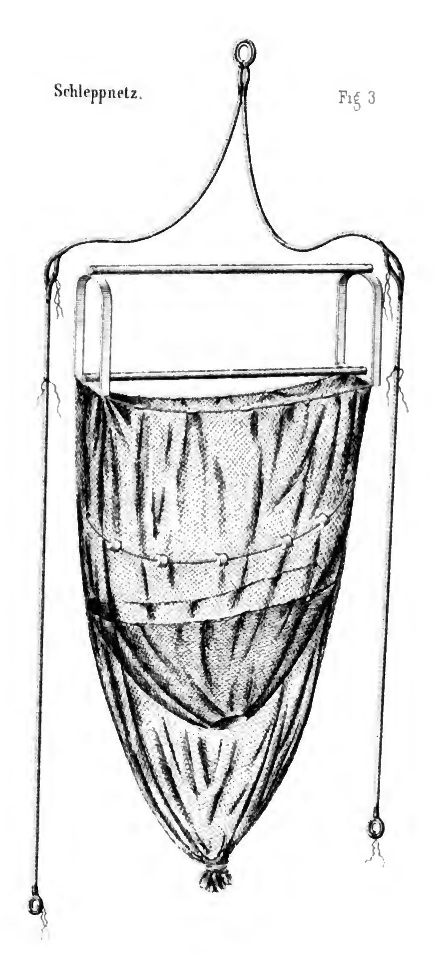
**) Bestimmung des Salzgehalts aus der Chlormenge. cfr. Attlmay, „Handbuch der Oceanographie“, Band 1, Seite 249; „Annales de chemie et de physique“ 1882, Band XXV, Seite 433; § 10 der „Anleitung für die Versorgung der Schiffe mit Trinkwasser“, M.-V.-Bl. 1879; „The Physics and Chemistry of the Voyage of H. M. S. ‚Challenger‘“.

Schleppsäcke.



Schleppnetz.

Fig 3



Seite 186-87

Die Befestigung des Schleppsackes an der Schleppleine wird vortheilhaft nicht unmittelbar in dem Ringe vorgenommen, an welchem die Bügel zusammenlaufen. Man wendet eine Befestigung an, welche zugleich beim Hinterhaken des Sackes hinter Steine etc. ausschlippt und den Sack von dem Hinderniss frei holt. Taf. XV Fig. 1 zeigt die an Bord des Challenger zu diesem Zweck angewandte Befestigungsweise.

Zu Schleppleinen verwendet man getheerte zwei- bis dreizöllige Leinen vom besten italienischen Hanf.

An Bord des Challenger wurden folgende Schleppleinen verwendet:

Umfang	Gewicht	Bruchbelastung
2" (5,1 cm)	95 Pfd. je 100 Faden	1 ton 12 cwt
2½" (6,4 cm)	158 „ „ „ „	2 „ 6 „
3" (7,6 cm)	220 „ „ „ „	2 „ 11 „

Die Leinen wurden in Längen bis 4000 Faden zusammen gesplisst angewendet und von 100 zu 100 Faden gemarkt. Für das Schleppen war in ähnlicher Weise die Grossraa wie für das Lothen zugetakelt. Der Akkumulator wurde entsprechend stärker (aus 80 Gummibändern für Tiefseeschleppen) zusammengesetzt und an einem am Top befestigten Hanger, welcher mit einem Takel nach der Nock ausgeholt wurde, aufgehängt. Ehe die Schleppleine an dem Schleppnetz befestigt wird, werden zwei Ringe auf dieselbe aufgestreift, einer für den Beiholer und einer für das später hinabzusendende Laufgewicht.

§ 84. Das Manövriren beim Schleppen.

Damit der Schleppsack mit Schwabbern etc. klar auf den Grund kommt, muss das Schiff von dem Netz abtreiben, was in der Regel erreicht wird, indem man Vorsegel setzt und die Schleppleine einige Strich luvwärts achteraus frei auslaufen lässt, auch zuweilen abstoppt, damit nicht zuviel lose Leine ausläuft.

Auf 300 Faden (immer Schleppen in tiefem Wasser vorausgesetzt) wird ein Knebel in die Schleppleine eingebunden und dann weiter soviel Leine ausgesteckt, als die Tiefe beträgt. Das Sinken der Leine geht sehr langsam von Statten, man muss bei 2500 Faden Tiefe drei Stunden dafür rechnen. Ist Leine genug ausgesteckt, so wird ein Gewicht von etwa 75 kg als Laufgewicht an der Leine hinunter gelassen. Gleichzeitig lässt man noch Leine bis auf die 1½fache Tiefe auslaufen. Das Schiff muss sodann langsamer als vorher treiben (quer ab). Der Akkumulator zeigt an, ob der Schleppsack starken Widerstand findet. Strecken sich die Gummibänder plötzlich stark, so lässt man Leine auslaufen, bringt das Schiff auf den Wind und holt die Leine langsam ein, kommt sie dabei nicht frei, so dampft man langsam gegen den Wind an und nöthigenfalls rund

um die Stelle, an welcher man den Schleppsack vermuthen kann. Sind alle Versuche fruchtlos, so bricht zunächst der Zeiser der Schleppkette am Ringe der Bügel, und es ist wahrscheinlich, dass der Apparat dabei freikommt.

Statt der beschriebenen Schleppleinen bedient man sich neuerdings mit Vortheil der Drahtleinen. Eine solche Leine ist aus sechs Litzen von verzinkten Gussstahldrähten von je 1 mm und 150 kg Bruchbelastung per Quadratmillimeter um eine Hanfseele geschlagen, hat 28,5 mm Umfang und wiegt etwa 0,27 kg per Meter. Die Bruchbelastung der Leine beträgt 4000 kg.

Bei Anwendung einer Drahtleine ist das Laufgewicht entbehrlich, und der ganze Apparat sinkt viel schneller. Mit dieser Drahtleine benutzt man zweckmässig ein Dynamometer, aus Gummipuffern zusammengesetzt, statt des Akkumulators, und misst die ausgelaufene Länge mittelst eines Zählrades, Einrichtungen, wie solche in grösserem Umfange beim Legen etc. von Telegraphenkabeln angewendet werden.

Für das Schleppen mit Drahtleine giebt Sigsbee folgende Zeiten: Für Ausstecken und Einholen 3 bis 5 Minuten pro 100 Faden, für das Schleppen selbst 10 bis 30 Minuten je nach der Tiefe und der Art des Bodens bei einer Fahrt des Schiffes von 1½ bis 3 Knoten.

§ 85. Schleppnetze und Schleppkäscher.

Im Vorhergehenden ist der Ausdruck „Schleppsack“ beibehalten worden, entsprechend dem englischen dredge, zum Unterschiede von den ganz verschiedenen Schleppnetzen, englisch trawl. Das Schleppnetz ist nicht mit einem Kratzeisen versehen und wird nur auf weichem Grunde angewendet. Ein eiserner Bügel, dessen Form aus Fig. 3 auf Tafel XV ersichtlich ist, schleppt ein weitmaschiges Netz von etwa 5 m Länge hinter sich her. Das Netz ist nur in den vier Ecken des Bügels fest und rund um an der Oeffnung mit Bleistücken beschwert, so dass sein Saum in einer Bucht hinter dem Bügel her am Grunde entlang schleppt. Am Ende wird das Netz mit einem Loth beschwert, damit es nicht unklar wird beim Hinablassen. Das Ende ist ganz engmaschig oder mit Bramtuch umnäht, damit eine Grundprobe mit heraufgebracht werden kann. In dem grossen Schleppsack ist ein kleinerer, die sogenannte Tasche, befestigt, welche verhindert, dass der Inhalt des unteren Netzes wieder hinausgespült wird. Die Tasche und der untere Theil des Netzes sind feinmaschiger als der grosse vordere Theil (etwa 1 cm weite Maschen gegen 2 bis 2,5 cm weite Maschen vorn).

Das Schleppnetz lässt sich für sehr bedeutende Tiefen anwenden und wurde vom Challenger (in einer von der Figur etwas abweichenden Form*) bis 2650 Faden hinabgelassen.

*) Eine Beschreibung und Skizze befinden sich in Wyville Thomsons „The Atlantic“.

Die Befestigungsweise der Schleppleine am Netz ist ebenfalls aus der Figur ersichtlich. Wird das Netz am Grunde festgehalten, so brechen die Stopper am Bügel zuerst, und das Netz kommt mit dem Ende nach vorn von dem Hinderniss frei.

Der Schleppkäscher (tow-net) dient zur Absuchung geringer Wassertiefen und wird am Grunde gar nicht verwendet. Ein kreisförmiger Bügel von beliebigem Durchmesser und entsprechender Stärke dient zur Befestigung einer Tasche von Musselin, Flaggentuch oder leichtem Baumwollentuch von der Form eines Schmetterlingsnetzes und kann beliebig je nach dem Zweck variirt werden. An Bord des Challenger wurden solche Schleppkäscher in ähnlicher Weise wie Schleppsäcke und Schleppnetze bei treibendem Schiff nachgeschleppt und bis auf Tiefen von 100 Faden hinabgelassen. Einige Faden vor dem Käscher wurde ein leichteres Loth an der Schleppleine befestigt.

Tabellen für oceanische Beobachtungen.

I.

für V_h und $(V - V_h)$ (vergl. Seite 143)
destillirtes Wasser; specifisches Gewicht = 1,0000.

Tiefe in Metern h	Barometerstand								
	750 mm			760 mm			770 mm		
	V_h	Diff.	$(V-V_h)$	V_h	Diff.	$(V-V_h)$	V_h	Diff.	$(V-V_h)$
5	0,6710		0,3290	0,6739		0,3261	0,6768		0,3232
		0,1661			0,1657			0,1653	
10	0,5049		0,4951	0,5082		0,4918	0,5115		0,4885
		0,1002			0,1003			0,1004	
15	0,4047		0,5953	0,4079		0,5921	0,4111		0,5889
		0,0670			0,0672			0,0675	
20	0,3377		0,6623	0,3407		0,6593	0,3436		0,6564
		0,0840			0,0845			0,0849	
30	0,2537		0,7463	0,2562		0,7483	0,2587		0,7413
		0,0506			0,0509			0,0513	
40	0,2031		0,7969	0,2053		0,7947	0,2074		0,7926
		0,0337			0,0340			0,0343	
50	0,1694		0,8306	0,1713		0,8287	0,1731		0,8269
		0,0241			0,0244			0,0245	
60	0,1453		0,8547	0,1469		0,8531	0,1486		0,8514
		0,0181			0,0183			0,0185	
70	0,1272		0,8728	0,1286		0,8714	0,1301		0,8699
		0,0141			0,0142			0,0144	
80	0,1131		0,8869	0,1144		0,8856	0,1157		0,8843
		0,0113			0,0114			0,0115	
90	0,1018		0,8982	0,1030		0,8970	0,1042		0,8958
		0,0093			0,0093			0,0094	
100	0,0925		0,9075	0,0937		0,9063	0,0948		0,9052
		0,0142			0,0144			0,0146	
120	0,0783		0,9217	0,0793		0,9207	0,0802		0,9198
		0,0104			0,0106			0,0106	
140	0,0679		0,9321	0,0687		0,9313	0,0696		0,9304
		0,0080			0,0080			0,0082	
160	0,0599		0,9401	0,0607		0,9393	0,0614		0,9386
		0,0063			0,0064			0,0064	
180	0,0536		0,9464	0,0543		0,9457	0,0550		0,9450
		0,0051			0,0052			0,0053	
200	0,0485		0,9515	0,0491		0,9509	0,0497		0,9503
		0,0093			0,0094			0,0095	
250	0,0392		0,9608	0,0397		0,9603	0,0402		0,9598
		0,0063			0,0064			0,0065	
300	0,0329		0,9671	0,0333		0,9667	0,0337		0,9663

I.
für V_h und $(V - V_h)$ (vergl. Seite 143)
Seewasser; specifisches Gewicht = 1,0266.

Tiefe in Metern h	Barometerstand								
	750 mm			760 mm			770 mm		
	V_h	Diff.	$(V-V_h)$	V_h	Diff.	$(V-V_h)$	V_h	Diff.	$(V-V_h)$
5	0,6652		0,3348	0,6681		0,3319	0,6710		0,3290
		0,1669			0,1665			0,1661	
10	0,4983		0,5017	0,5016		0,4984	0,5049		0,4951
		0,0999			0,1000			0,1002	
15	0,3984		0,6016	0,4016		0,5984	0,4047		0,5953
		0,0666			0,0668			0,0670	
20	0,3318		0,6682	0,3348		0,6652	0,3377		0,6623
		0,0831			0,0836			0,0840	
30	0,2487		0,7513	0,2512		0,7488	0,2537		0,7463
		0,0498			0,0502			0,0506	
40	0,1989		0,8011	0,2010		0,7990	0,2031		0,7969
		0,0332			0,0334			0,0337	
50	0,1657		0,8343	0,1676		0,8324	0,1694		0,8306
		0,0237			0,0239			0,0241	
60	0,1420		0,8580	0,1437		0,8563	0,1453		0,8547
		0,0177			0,0180			0,0181	
70	0,1243		0,8757	0,1257		0,8743	0,1272		0,8728
		0,0139			0,0139			0,0141	
80	0,1104		0,8896	0,1118		0,8882	0,1131		0,8869
		0,0110			0,0112			0,0113	
90	0,0994		0,9006	0,1006		0,8994	0,1018		0,8982
		0,0090			0,0092			0,0093	
100	0,0904		0,9096	0,0914		0,9086	0,0925		0,9075
		0,0140			0,0140			0,0142	
120	0,0764		0,9236	0,0774		0,9226	0,0783		0,9217
		0,0101			0,0103			0,0104	
140	0,0663		0,9337	0,0671		0,9329	0,0679		0,9321
		0,0078			0,0079			0,0080	
160	0,0585		0,9415	0,0592		0,9408	0,0599		0,9401
		0,0062			0,0062			0,0063	
180	0,0523		0,9477	0,0530		0,9470	0,0536		0,9464
		0,0050			0,0051			0,0051	
200	0,0473		0,9527	0,0479		0,9521	0,0485		0,9515
		0,0091			0,0092			0,0093	
250	0,0382		0,9618	0,0387		0,9613	0,0392		0,9608
		0,0061			0,0062			0,0063	
300	0,0321		0,9679	0,0325		0,9675	0,0329		0,9671

II.

Höhe einer Wassersäule, welche dem Druck einer Atmosphäre das Gleichgewicht hält.

Specifisches Gewicht des Wassers	Barometerstand 760 mm	Specifisches Gewicht des Wassers	Barometerstand 760 mm
	m		m
1,000	10,333	1,022	10,099
1,005	10,282	1,024	10,091
1,010	10,231	1,026	10,071
1,015	10,180	1,028	10,052
1,020	10,130	1,030	10,032

III.

Tafel zur Reduktion des mit Glasaräometern beobachteten specifischen Gewichts des Seewassers auf solches für die Temperatur von 17,5° Celsius

nach G. Karsten.

t	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	t
+ 30	1,0054	+ 26	1,0092	+ 28	1,0131	+ 29	1,0169	+ 31	1,0242	+ 33	+ 30
29	57	23	95	25	133	27	172	28	245	30	29
28	60	20	98	22	136	24	174	26	248	27	28
27	62	18	100	20	138	22	176	24	251	24	27
26	64	16	103	17	141	19	179	21	254	21	26
25	66	14	106	14	144	16	182	18	257	18	25
24	68	12	108	12	146	14	184	16	259	16	24
23	70	10	110	10	149	11	187	13	262	13	23
22	72	8	112	8	151	9	190	10	265	10	22
21	73	7	113	7	153	7	193	7	268	7	21
20	75	5	115	5	155	5	195	5	270	5	20
19	77	3	117	3	157	3	197	3	272	3	19
18	1,0079	+ 1	1,0119	+ 1	1,0159	+ 1	1,0199	+ 1	1,0274	+ 1	18
17	1,0081	— 1	1,0121	— 1	1,0161	— 1	1,0201	— 1	1,0276	— 1	17
16	82	2	122	2	163	3	203	3	278	3	16
15	84	4	124	4	165	5	205	5	280	5	15
14	85	4	125	5	166	6	206	6	281	6	14
13	86	5	127	7	168	8	208	8	283	8	13
12	88	6	128	8	169	9	209	9	285	10	12
11	84	8	129	9	170	10	211	11	286	11	11
10	89	9	130	10	171	11	212	12	287	12	10
9	91	11	132	12	173	13	214	14	289	14	9
8	91	11	133	13	174	14	214	14	290	15	8
7	91	11	133	13	174	14	215	15	290	15	7
6	91	11	133	13	175	15	216	16	291	16	6
5	92	12	134	14	176	16	217	17	293	18	5
4	92	12	134	14	176	16	217	17	294	19	4
3	92	12	134	14	176	16	217	17	294	19	3
2	91	11	133	13	176	16	217	17	294	19	2
1	91	11	132	12	176	16	217	17	294	19	1
0	1,0090	— 10	1,0131	— 11	1,0175	— 15	1,0217	— 17	1,0294	— 19	0

In der Tafel ist t die mit dem hunderttheiligen Thermometer beobachtete Temperatur des Seewassers, S das beobachtete specifische Gewicht desselben und C die Korrektion, welche entsprechend ihrem Vorzeichen an S anzubringen ist, um das specifische Gewicht gegen Wasser von 17,5° Cels. Temperatur zu erhalten.

IV.

Tafel zur Bestimmung des Salzgehaltes des Seewassers aus dem für 17,5° Celsius gefundenen specifischen Gewicht desselben.

S	p	S	p	S	p	S	p	S	p	S	p
1,0001	0,01	1.0051	0,67	1,0101	1,32	1,0151	1,98	1,0201	2,63	1,0251	3,29
02	03	52	68	102	34	152	99	202	65	252	30
03	04	53	69	103	35	153	2,00	203	66	253	31
04	05	54	71	104	36	154	02	204	67	254	33
05	07	55	72	105	38	155	03	205	69	255	34
06	08	56	73	106	39	156	04	206	70	256	35
07	09	57	75	107	40	157	06	207	71	257	37
08	10	58	76	108	41	158	07	208	72	258	38
09	12	59	77	109	43	159	08	209	74	259	39
10	13	60	79	110	44	160	10	210	75	260	41
11	14	61	80	111	45	161	11	211	76	261	42
12	16	62	81	112	47	162	12	212	78	262	43
13	17	63	83	113	48	163	14	213	79	263	45
14	18	64	84	114	49	164	15	214	80	264	46
15	20	65	85	115	51	165	16	215	82	265	47
16	21	66	86	116	52	166	17	216	83	266	48
17	22	67	88	117	53	167	19	217	84	267	50
18	24	68	89	118	55	168	20	218	86	268	51
19	25	69	90	119	56	169	21	219	87	269	52
20	26	70	92	120	57	170	23	220	88	270	54
21	28	71	93	121	59	171	24	221	90	271	55
22	29	72	94	122	60	172	25	222	91	272	56
23	30	73	96	123	61	173	27	223	92	273	58
24	31	74	97	124	62	174	28	224	93	274	59
25	33	75	98	125	64	175	29	225	95	275	60
26	34	76	1,00	126	65	176	31	226	96	276	62
27	35	77	01	127	66	177	32	227	97	277	63
28	37	78	02	128	68	178	33	228	99	278	64
29	38	79	03	129	69	179	34	229	3,00	279	65
30	39	80	05	130	70	180	36	230	01	280	67
31	41	81	06	131	72	181	37	231	03	281	68
32	42	82	07	132	73	182	38	232	04	282	69
33	43	83	09	133	74	183	40	233	05	283	71
34	45	84	10	134	76	184	41	234	07	284	72
35	46	85	11	135	77	185	42	235	08	285	73
36	47	86	13	136	78	186	44	236	09	286	75
37	48	87	14	137	79	187	45	237	10	287	76
38	50	88	15	138	81	188	46	238	12	288	77
39	51	89	17	139	82	189	48	239	13	289	79
40	52	90	18	140	83	190	49	240	14	290	80
41	54	91	19	141	85	191	50	241	16	291	81
42	55	92	21	142	86	192	52	242	17	292	83
43	56	93	22	143	87	193	53	243	18	293	84
44	58	94	23	144	89	194	54	244	20	294	85
45	59	95	24	145	90	195	55	245	21	295	86
46	60	96	26	146	91	196	57	246	22	296	88
47	62	97	27	147	93	197	58	247	24	297	89
48	63	98	28	148	94	198	59	248	25	298	90
49	64	99	30	149	95	199	61	249	26	299	92
1,0050	0,66	1,0100	1,31	1,0150	1,97	1,0200	2,62	1,0250	3,28	1,0300	3,93

Es bedeutet S das der Temperatur 17,5° Cels. entsprechende specifische Gewicht des Seewassers und p den Salzgehalt desselben in Procenten ausgedrückt.

Kompasse und magnetische Instrumente.

I. Kompasse.

§ 86. Die Theorie des Kompasses.

Die Anforderungen an einen Kompass sind dahin zusammenzufassen, dass derselbe unausgesetzt die Richtung der auf ihn wirkenden magnetischen Horizontalkraft anzeigen soll. Die Eigenschaften, welche den Kompass zur Lösung dieser Aufgabe geeignet machen, lassen sich unterscheiden als mechanische und magnetische.

Die mechanischen Eigenschaften des Kompasses sollen es ermöglichen, die magnetischen Horizontalkräfte möglichst ungestört wirken zu lassen. Aus der Richtung der letzteren soll relativ jede beliebige Horizontalrichtung bestimmt werden. Eine Windrose muss hierfür mit den Magneten des Kompasses verbunden und dieses System so aufgehängt werden, dass es in einer horizontalen Ebene frei um eine vertikale Axe schwingt. Zu dem Zweck ist die Kompassbüchse zunächst in zwei koncentrischen Horizontalringen aufgehängt, deren horizontale Axen genau rechtwinklig zu einander in derselben Ebene liegen müssen. In der Vertikalaxe der Büchse befindet sich die Pinne, deren Spitze genau in den Schnittpunkt jener beiden Horizontalaxen fällt. Bewegen sich die Büchse und das Ringsystem frei in den Horizontalaxen, so bleibt die Pinnenspitze als Mittelpunkt der Bewegungsaxen in Ruhe. In diesem Punkt ruht nun mit einem Hütchen die Kompassrose mit den Magneten auf. Die erste hieraus sich ergebende Konstruktionsbedingung ist also genaue Centrirung und richtige Höhe der Kompasspinne.

Im Innern der Kompassbüchse sind, vertikal die Horizontalaxen schneidend, durch die Steuerstriche ein oder zwei Vertikalebenen markirt. Die Schwingungen der Kompassbüchse in ihren Ringen und der Kompassrose auf der Pinne müssen um Horizontalaxen vor sich gehen, welche alle in einer Ebene liegen, andernfalls wird an den Steuerstrichen bei jeder Neigung eine andere Kompassrichtung, d. h. ein anderer

Kurs abgelesen. Der Aufhängungspunkt im Hütchen der Rose darf sich daher nicht erheblich über der oberen Rosenfläche befinden.*)

Die mechanische Konstruktion der Kompassrose muss aber noch weitergehende Bedingungen erfüllen: 1) Es soll die nicht magnetische Kraft, welche einem Zurückschwingen der abgelenkten Rose entgegenwirkt, sehr gering sein. Diese Eigenschaft bezeichnet man als die Empfindlichkeit. 2) Es soll der Widerstand gegen eine Ablenkung der Rose aus ihrer magnetischen Gleichgewichtslage (aus dem Kompassmeridian) sehr gross sein. Diese Eigenschaft ist die Ruhe des Kompasses. Beide Eigenschaften widersprechen sich nicht, ein Kompass kann empfindlich und ruhig zugleich sein.

§ 87.

1. Die Empfindlichkeit der Kompassrose.

Wenn das Schiff seinen Kurs nicht innehält, sondern von demselben abgiert, ebenso, wenn das Schiff infolge der Ruderwirkung eine Drehung ausführt, so wirken zwei Kräfte auf die Kompassrose: die Magnetkraft der Kompassnadel einerseits, welche die Rose in der absoluten Richtung, und die mechanische Kraft andererseits, welche die Rose in der relativen Richtung zur Kiellinie festzuhalten strebt.

Diese letztere Kraft ist der Reibungswiderstand. Wenn M den Magnetismus der Nadel, H die magnetische Horizontalkraft der Erde bezeichnet, so ist die magnetische Kraft, welche die um einen Winkel δ abgelenkte Nadel in die Nord-Südrichtung zurückzuführen strebt, $MH \sin \delta$. Dieselbe wächst also mit der Ablenkung. Der Widerstand R aber bleibt derselbe in jeder Richtung zum Kompassmeridian. Ist nun für einen Winkel δ_1

$$R = MH \sin \delta_1,$$

so wird für einen kleineren Winkel δ_2 sein: $R > MH \sin \delta_2$, d. h. innerhalb des Winkels δ_1 überwiegt der Reibungswiderstand über die Einstellungskraft. Dieser Winkel δ_1 ist also ein Mass für den Mangel an Empfindlichkeit. Der Mangel an Empfindlichkeit ist demnach darzustellen durch $\frac{R}{MH} = \sin \delta_1$, und die Empfindlichkeit selbst ist proportional $\frac{MH}{R}$.

Die Reibung ist proportional dem Druck und in gewissem Grade abhängig von der Adhäsion und der Grösse der Berührungsfläche. Die Empfindlichkeit des Kompasses wird also erreicht: durch geringes Gewicht der Rose und in gewissem Grade durch glatte harte Hütchen auf spitzen Pinnen.

Der Fehler δ_1 der Empfindlichkeit der Rose kann hiernach in folgender Weise geprüft werden:

*) Sollen aus anderen Gründen die Magnete unter den Aufhängepunkt versenkt werden, so können sie daher nicht unmittelbar an der Rosenfläche anliegen.

Man lenkt die Rose um ein Geringes ab, lässt sie darauf zur Ruhe kommen und liest die Einstellung ab. Darauf lenkt man ebenso nach der andern Seite ab und bemerkt die Differenz beider Einstellungen. Diese Differenz ist gleich dem doppelten Werth von δ_1. (Wenn bei dem Versuch die Ablenkungen die Grösse δ_1 wesentlich überschreiten, so wird die Ruhestellung wegen des dem rückschwingenden System innewohnenden mechanischen Moments immer irgendwo innerhalb der indifferenten Zone $2\,\delta_1$ erfolgen, daher ein kleinerer Winkel als δ_1 als Resultat erzielt werden.) Ist δ_1 unmerklich klein, so ist die Empfindlichkeit des Kompasses hinreichend.

Nach dieser Erklärung ist es nur der Widerstand der Reibung an der Pinne, welcher die Empfindlichkeit beeinträchtigt. Ist die Empfindlichkeit nicht hinreichend, ist δ_1 eine messbare Grösse, so macht sich sogleich noch ein anderer Widerstand bemerkbar, welcher die Empfindlichkeit noch weiter beeinträchtigt, nämlich der Widerstand des umgebenden Mittels, beim gewöhnlichen Kompass der Widerstand der Luft, beim Fluidkompass der der Füllflüssigkeit. Dieser Widerstand ist proportional dem Quadrat oder einer höheren Potenz der Bewegungsgeschwindigkeit, er hat also eine Bewegung zur Voraussetzung. Erst wenn eine Ablenkung aus dem Meridian wirklich stattgefunden hat und eine beschleunigte Rückwärtsbewegung der Rose nach ihrer magnetischen Gleichgewichtslage hin vor sich geht, tritt dieser Widerstand verlangsamend auf. Niemals aber wird hierdurch der Empfindlichkeitsfehler δ_1 des Kompasses vergrössert, und immer ist ein Fehler δ_1 die eigentliche Ursache für das Bemerklichwerden dieses Widerstandes. Geringer Druck der Kompassrose auf die Pinne und damit geringe Reibung bleibt sonach die entscheidende mechanische Konstruktionsbedingung für einen empfindlichen Kompass.

Der Widerstand des umgebenden Mittels, welcher lediglich eine Funktion der Bewegungsgeschwindigkeit der abgelenkten Nadel ist, würde also an und für sich keinen Einwand gegen die Anwendung von Fluidkompassen begründen. Ein solcher Einwand ist vielmehr herzuleiten aus der Adhäsion der Flüssigkeit an den Gefässwänden und Mittheilung der Bewegung der Kompassbüchse durch die ganze Füllflüssigkeit vermöge der inneren Reibung dieser Flüssigkeit. Wenn das Schiff beispielsweise einen Kreis läuft, so rotirt der Kompass um seine Vertikalaxe. Diese Rotation in der Ebene der Kompassrose theilt sich der Flüssigkeit durch Reibung mit, und infolge dessen muss der beste Kompass eine Ablenkung im Sinne der Drehung des Schiffs erkennen lassen, sobald diese Bewegung einige Zeit anhält. Für die in der Praxis im Allgemeinen zu berücksichtigenden langsamen Drehungen von kurzer Zeitdauer ist dieser Einfluss von untergeordneter Bedeutung. Läuft das Schiff aber fortgesetzt Kreise, so kann kein Kompas genau die Nord-Südrichtung anzeigen. Er muss vielmehr gegen die Bewegungsrichtung zurückbleiben und zwar ganz abgesehen von etwa geltend zu machenden magnetischen Ursachen.

2. Die Ruhe der Kompassrose.

War bei der Empfindlichkeit Abweichen vom Kurse und Gieren, so ist bei dem Begriff der Ruhe das Schlingern und Stampfen des Schiffes in Betracht zu ziehen, sodann das Vibriren des Schiffskörpers durch Erschütterungen unter Dampf und beim Schiessen.

Das Schlingern und Stampfen würde durch die Aufhängung in koncentrischen Ringen aufgehoben sein, wenn die Axen in ihren Lagern nicht mit beträchtlicher Reibung behaftet wären. Statt cylindrischer Axen wird daher verschiedentlich auch eine Lagerung auf Schneiden angewendet.

Die Erschütterungen pflanzen sich durch die Pinne fort hauptsächlich als vertikale Stösse, welche die Rose in die Höhe werfen und wieder niederfallen lassen. Wegen der Bewegung der Kompassbüchse in ihren Ringen findet dieser Stoss nie genau centrisch statt; ein Antrieb zur Drehung um eine der horizontalen Axen der Rose ist die unmittelbare, eine Schwingung um die vertikale Axe die mittelbare Folge, bei gleichzeitiger Beschädigung von Pinne und Hütchen und daraus folgender vergrösserter Reibung.

Die nächstliegende Abhülfe scheint sich zu bieten in einer Vermehrung des Gewichts der Rose bei gleichzeitiger Abstumpfung der scharfen Pinne. Man erreicht auf diesem in der Praxis häufig eingeschlagenen Wege Ruhe auf Kosten der Empfindlichkeit, und man ist genöthigt, bei starken Erschütterungen eine andere Kompassrose anzuwenden als bei ruhiger Lage des Schiffes. Aber dabei lässt sich nicht vermeiden, dass, wenn die Erschütterungen ungewöhnlich stark werden und dann doch ein Emporschnellen der Rose eintritt, die Abnutzung durch die Schwere der niederfallenden Rose sehr stark auftritt und dann die Empfindlichkeit um so stärker vermindert wird. Die Rubinwölbungen der Pinnen für schwere Sturmrosen findet man nicht selten nach starken Bewegungen des Schiffes rauh und mit Sprüngen durchzogen.

Statt der Anwendung schwerer Rosen findet sich ein rationelleres Mittel, wenn man den Folgen der durch die Pinne fortgepflanzten Erschütterung weiter nachgeht und den Antrieb zur Drehung der Rose um ihre Gleichgewichtsaxen abschwächt.

Der Drehung eines Systems um eine Axe wirkt entgegen das Trägheitsmoment des Systems, bezogen auf diese Axe. Die Bedingung der Ruhe wird am vollständigsten erfüllt, wenn das Trägheitsmoment des Körpers absolut gross und für jede Drehungsaxe gleich ist. Jedes symmetrische System, welches in einem Punkt unterstützt ist, hat drei Hauptaxen. Ist das Trägheitsmoment in Bezug auf diese drei gleich, so ist es in Bezug auf alle durch den Unterstützungspunkt gehenden Axen gleich.

Diese Sätze der Mechanik sind nun auf die Kompassrose anzuwenden.

Die drei Hauptaxen, für welche das Trägheitsmoment zu bestimmen ist, schneiden sich im Aufhängepunkt der Rose. Es sei die X Axe parallel den Magneten, die Y Axe horizontal rechtwinklig zur X Axe, die Z Axe vertikal. Wenn man die Trägheitsmomente mit kx, ky, kz bezeichnet und zunächst ein Magnetsystem von zwei Nadeln betrachtet, deren Länge l, deren Abstand von einander $2d$ und deren vertikale Entfernung unter dem Aufhängepunkt e ist, so ergeben sich die Trägheitsmomente bei einem Gewicht $2w$

$$kx = 2w\left(\tfrac{1}{12}l^2 + e^2\right)$$
$$ky = 2w\left(d^2 + e^2\right)$$
$$kz = 2w\left(\tfrac{1}{12}l^2 + d^2\right).$$

Es wird verlangt $kx = ky = kz$ oder

$$\tfrac{1}{12}l^2 + e^2 = d^2 + e^2 = \tfrac{1}{12}l^2 + d^2.$$

Dieser Forderung wird genügt, wenn

$$d = \tfrac{1}{6}l\sqrt{3} = \tfrac{1}{2}l\,\mathrm{tg}\,30^\circ = r\sin 30^\circ = \tfrac{1}{2}r$$
$$d = e = \tfrac{1}{2}r$$

worin r den Halbmesser der Rose bezeichnet. Das heisst: Die Magnete müssen als Sehnen der Rose um 30° (oder den halben Radius) vom Durchmesser abstehen, und der Aufhängepunkt muss um den halben Radius über den Magneten erhöht liegen.

Zugleich wird ersichtlich, dass für einen einzelnen Magneten sich ein solcher Gleichgewichtszustand nicht erreichen lässt und dass, wegen des hier nicht berücksichtigten Gewichts der Rose selbst und des Gerippes, durch ein System von vier und mehr unter der Rose vertheilten Magnetnadeln das Gleichgewicht noch vollkommener hergestellt werden kann.

§ 88.

Geringes Gewicht, grosses Trägheitsmoment des nach vorstehendem Gesetz angeordneten Systems und grösste Leichtigkeit der unsymmetrisch vertheilten Verbindungsglieder in der Kompassrose sind also für Empfindlichkeit und Ruhe eines Kompasses Bedingungen. Die Kompasse gewöhnlicher Konstruktion vermögen diese Bedingungen nicht zu vereinigen. Eine feste Verbindung so weit unter der eigentlichen Rose liegender Magnete mit dieser lässt sich ohne erhebliche Gewichtsvermehrung gerade der nicht magnetischen und centralen Theile der Rose nicht erreichen. Zunahme des Gewichts, Abnahme des Trägheitsmoments ist die unvermeidliche Folge. Nur zwei Systeme entsprechen der Theorie: die Kompasse nach Sir William Thomsons System und die Fluidkompasse mit Schwimmer.

Der Thomsonsche Kompass entspricht den theoretischen Anforderungen, welche bis hierher dargelegt wurden, durchaus: Lagerung der koncentrischen Ringe auf Schneiden, spitze Pinne, Rubinhütchen, Windrose in der Ebene der Aufhängung; versenkte, unter der Rose vertheilte Magnete; geringes Gewicht, besonders der Verbindungsstücke und des centralen

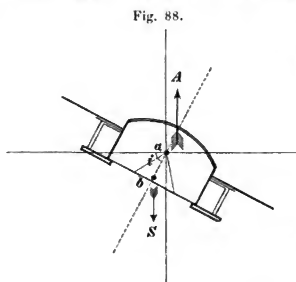
Theils, und grosses Trägheitsmoment. Der Erfolg dieses Kompasses ist eine schöne Bestätigung der Theorie.

In dem Fluidkompass nach Ritchie ist dieselbe Aufgabe dadurch gelöst, dass vermittelst eines lufterfüllten Schwimmers der Druck der in Flüssigkeit ganz eingetauchten Rose auf die Pinne zum grössten Theil aufgehoben wird. Die Rose kann ohne Rücksicht auf das Gewicht des Materials nach theoretischen Grundsätzen zusammengestellt werden, da ein Mittel gegeben ist, den Druck auf die Pinne durch den lufterfüllten Schwimmer nachträglich beliebig zu reguliren, die Reibung auf der Pinne kann auf ein Minimum beschränkt werden. Es ist theoretisch kein Hinderniss vorhanden, den Fluidkompass ebenso empfindlich herzustellen wie den Thomsonschen.

In dem flüssigen Mittel, welches die Rose umgiebt, ist eine fernere Gegenwirkung gegen einen der Rose mitgetheilten vertikalen Bewegungsimpuls gefunden. Der Widerstand gegen einen Stoss wird dann desto grösser, je stärker die durch einen solchen erregte Bewegung ist. Die schwächsten wie die stärksten Erschütterungen werden also durch dasselbe Mittel abgewehrt. Der Fluidkompass geht somit noch einen Schritt weiter, als der Kompass Thomsonscher Konstruktion, indem er heftige Stösse unmittelbarer abwehrt.

Die beiden theoretisch vollkommensten Kompasssysteme haben praktische Mängel, welche ihre allgemeine Anwendung bisher verhindert haben: die Thomsonschen Kompasse das lose Gefüge und die fragliche Dauerhaftigkeit der Rose, der Fluidkompass die grossen technischen Schwierigkeiten seiner tadellosen Herstellung bei dem schädlichen Einflusse der umgebenden Flüssigkeit und der erschwerten Justirung des Magnetsystems.

Fig. 88.



§ 89. Die Stabilität der Kompassrose.

Die Kompassrose muss das Bestreben haben, stets schnell wieder in die horizontale Lage zurückzukehren, sobald sie aus derselben abgelenkt ist. Im Allgemeinen wird diese Bedingung erfüllt durch Versenkung des Schwerpunkts unter den Aufhängepunkt.

Ist a (Fig. 88) der Aufhängepunkt, b der Schwerpunkt, so ist das Bestreben einer Rose, von dem Gewicht P wieder in die Horizontallage zurückzugelangen, d. h. die Stabilität S:

$$S = P \,.\, \overline{ab} \,.\, \sin i$$

Die Stabilität der Rosen mit Schwimmer in den Fluidkompassen erheischt besondere Aufmerksamkeit.

Wenn bei einer Ablenkung der Rose aus der horizontalen Lage der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit, d. h. das Metacentrum der Rose, sich dem Schwerpunkt der Rose nähert, so wird die Stabilität geringer, und wenn die Rose eines Fluidkompasses ohne Rücksicht hierauf konstruirt ist, so kann ein Umstürzen auf der Pinne dadurch herbeigeführt werden, dass bei starkem Kippen der Rose der Auftrieb unter dem Schwerpunkt angreift.

Tiefe Lage des Schwerpunkts (durch versenkte Anbringung der Magnete unter der Rosenfläche) ist daher für die Rosen der Fluidkompasse Bedingung.

Wenn die Rücksicht auf das Trägheitsmoment es zulässt, so ist eine nicht allzuflache Form des Schwimmers über dem mittleren Theil der Rose günstig. Dadurch bleibt der Angriffspunkt des Auftriebes A hoch über dem Schwerpunkt, während der Aufhängepunkt womöglich zwischen beiden eingeschaltet liegt.*)

§ 90. Die magnetische Kraft der Kompassrose.

Die magnetische Kraft eines Systems von gegebenen Dimensionen so gross und so beständig als möglich zu machen, wird erreicht durch Anwendung kräftiger Magnetnadeln und durch zweckmässige Vertheilung solcher Nadeln unter der Kompassrose.

Ueber die Herstellung kräftiger Magnete sind mannigfache Untersuchungen angestellt. Für Kompassnadeln sind die folgenden Resultate hervorzuheben:

1. Das einzig geeignete Material für Kompassnadeln ist harter Stahl. Das Vermögen eines Stahlstabes, Magnetismus in sich aufzunehmen, nimmt zu mit der Härte des Stahls und mit dem Kohlenstoffgehalte desselben.

2. Der Magnetismus eines Stahlstabes ist hauptsächlich in einer sehr dünnen Oberflächenschicht des Stabes vertheilt. Die vortheilhafteste Form ist daher diejenige, welche bei gleichem Volumen die grösste Oberfläche bietet. Aus diesem Grunde werden dünne parallelepipedische Lamellen für Kompassnadeln bevorzugt.

3. Wenn man mehrere Lamellen zu einem Bündel vereinigt, so hat das Bündel eine geringere magnetische Kraft, als sich aus der Summe der Kräfte der einzelnen Lamellen ergiebt. Nimmt man die Lamellen des Bündels wieder auseinander und prüft sie einzeln, so haben sie alle einen Theil ihrer Kraft verloren. Waren die Lamellen nicht demselben Stahlblech entnommen und nicht vollständig gleich, so kann man bei

*) Aus Fig. 88 wird unmittelbar ersichtlich, wie ein Leckwerden des Schwimmers Verlust an Stabilität und Umstürzen der Rose nach sich ziehen kann.

einzelnen Lamellen sehr erheblich abweichende Abnahmen der Kraft bis zur vollständigen Entmagnetisirung finden. Auf diese Weise sind schlechte Lamellen auszusondern und die Magnetnadeln nur aus Stahllamellen, die sich remanent gezeigt haben, endgültig zusammenzufügen.

4. Die so erhaltenen Magnetnadeln haben, durch die Induktionswirkung aufeinander, den bei der Magnetisirung aufgenommenen temporären Magnetismus verloren und sind beständiger als Magnetnadeln aus einem Stück.

5. Das grösste Quantum von Magnetismus wird in Magnetnadeln vereinigt, deren Lamellen sich nicht unmittelbar berühren, sondern zwischen denen sehr dünne Blätter einer nicht magnetisirbaren Substanz eingeschaltet sind. Die Anzahl der Lamellen ist durch Rücksichten anderer Art begrenzt, je mehr Lamellen man aber vereinigt, ein desto kräftigeres Magnetbündel erhält man. Vorausgesetzt bleibt, dass der so erhaltene Magnet im Verhältniss zum Querschnitt eine bestimmte Länge hat, welche je nach dem Material und der Zusammensetzung variirt.

6. Die magnetische Kraft zweier Magnetnadeln gleicher Konstruktion und verschiedener Grösse ist proportional dem Volumen, also auch dem Gewicht der Magnete. Wenn daher durch Anbringung mehrerer Nadeln unter der Rose die Kraft erhöht werden soll, so nimmt auch das Gewicht zu. Wie das Trägheitsmoment durch Vertheilung mehrerer Magnete unter der Rose vergrössert wird, ist bereits im Allgemeinen erörtert worden.

§ 91. Die Bestimmung der magnetischen Kraft.

Die Kraft, welche die horizontal schwingende Kompassrose in die Gleichgewichtslage zurückführt, ist das magnetische Drehungsmoment oder die Direktionskraft, verringert um die Momente aller Widerstände. Die Direktionskraft ist zusammengesetzt aus dem magnetischen Moment M der Kompassmagnete und der am Kompassort vorhandenen magnetischen Horizontalkraft H.

Auf die um einen Winkel φ abgelenkte Nadel wirkt ein Drehungsmoment

$$MH \sin \varphi - W$$

wenn W die Summe aller Widerstände bezeichnet.

Das magnetische Moment M ist die Summe aller magnetischen Elemente, multiplicirt mit ihren Entfernungen von einem gemeinsamen Punkt des Magnetsystems. Ob dieses System ein einzelner Magnet oder eine Kombination mehrerer paralleler Magnete ist, ändert nichts an der Definition.

Es ist daher angängig, die Kompassrose selbst als einen Magneten zu betrachten und das magnetische Moment des ganzen Systems zu bestimmen ohne gesonderte Untersuchung der einzelnen Theile. Die

Mittel zur Bestimmung des magnetischen Moments sind verschiedenartig. Die Methode der Schwingungen und die Methode der Ablenkungen werden im Folgenden erörtert werden.

§ 92. Die Methode der Schwingungen.

Wenn eine Kompassrose so um ihren Aufhängungspunkt schwingt, dass die Widerstände der Reibung etc. vernachlässigt werden können, so lassen sich zur Ermittelung der bewegenden Kraft die unter solcher Voraussetzung geltenden Pendelgesetze anwenden.

Die Schwingungsdauer eines Pendels ist der Quadratwurzel proportional aus den statischen Momenten dividirt durch die Drehungsmomente. Bezeichnet man die Summe der statischen Momente oder das Trägheitsmoment der Rose mit K, so erhält man für die Schwingungsdauer t

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}}.$$

Um daraus M zu finden, müssen H und K bekannt sein.

Wenn die Beobachtung an einem eisenfreien Ort angestellt ist, so ist H die Horizontalintensität des Erdmagnetismus und kann für die zu fordernde Genauigkeit als hinlänglich bekannt vorausgesetzt werden. Das Trägheitsmoment kann man aus Beobachtungen der Schwingungsdauer ermitteln, indem man die Kompassrose unbelastet und belastet schwingen lässt. Man beobachtet an der unbelasteten Rose

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}},$$

belastet nach dieser ersten Beobachtung die Rose mit einem Körper von bekanntem Trägheitsmoment K' und beobachtet dann

$$t' = \pi \sqrt{\frac{K + K'}{MH}}.$$

Daraus ergiebt sich

$$K = K' \frac{t^2}{t'^2 - t^2}.$$

Man hat für die Bestimmung von M aus der ersten Beobachtung

$$M = \pi^2 \cdot \frac{K}{t^2 H}$$

oder direkt aus beiden Beobachtungen

$$M = \frac{\pi^2 K'}{H(t'^2 - t^2)}.$$

Die Schwingungsdauer ist nur für sehr kleine Schwingungsweiten (von 3° und darunter) als isochron zu betrachten. Für die Beobachtungen an Kompassen kann man Schwingungen unter 20° noch gleichwerthig annehmen, während man für feine magnetische Beobachtungen eine Reduktion auf unendlich kleine Bogen eintreten lassen muss. Für 20° ist die Schwingungsdauer 1,008 mal grösser als für unendlich kleine Bogen.

Der Gang der Beobachtung ist folgender:

Die Kompassrose, aus welcher man das Hütchen ausgeschraubt und dafür ein dazu bestimmtes Häkchen eingeschraubt hat, wird in einen Schwingungskasten gebracht und an einem torsionsfreien Faden aufgehängt. Darauf wird die Rose aus ihrer Richtung abgelenkt, und es wird eine Reihe Schwingungen nach einem Chronometer beobachtet, indem man dabei den Durchgang durch die Gleichgewichtsrichtung beobachtet.

Man hakt darauf die Rose aus, legt einen Messingring von bekannten Dimensionen und Gewicht koncentrisch auf dieselbe, hakt sie wieder ein und wiederholt die Beobachtung.

Aus den so erhaltenen Daten berechnet man das magnetische Moment, indem man H in Gaussschen Einheiten zu Grunde legt.

Beispiel:

Bestimmung des magnetischen Moments der Azimutrose C. B. 1370.

Beobachtung der Schwingungen.

(l Bewegung nach links, r Bewegung nach rechts)

a. ohne Trägheitsring.

	min.	sek.		min.	sek.		min.	sek.
l	30	18,4	—	38	8,2	60 Schw.: =	7	49,8
r		41,4			31,3			49,9
l		5,2			55,0			50,0
r		28,3			18,2			49,9
l		52,2			42,1			49,9
r		15,5			5,2			49,7
l		39,5			29,0			49,5
r		2,4			52,1			49,7
l		26,3			15,8			49,5
r		49,6			39,1			49,5
l	34	13,7		42	2,6			48,9
						60 Schw.: =	7	49,71

b. mit Trägheitsring.

	min.	sek.		min.	sek.		min.	sek.
l	31	27,2	—	41	21,8	54 Schw.: =	9	54,6
r		59,9			53,5			53,6
l		33,1			26,7			53,6
r		6,0			59,2			53,2
l		39,2			32,6			53,4
r		11,8			5,2			53,4
l		45,1			38,5			53,4
r		18,0			11,4			53,4
l		51,0			44,5			53,6
r		23,8			17,2			53,4
l	36	57,0		46	50,2			53,2
						54 Schw.: =	9	53,52

Berechnung.

log 60 Schw.: = 2,67183 log 54 Schw.: = 2,77343

log 60 = 1,77815 log 54 = 1,73239

log 1 Schw.: = log t 0,89368 log 1 Schw.: = log t' 1,04104

$$K = K' \frac{t^2}{t'^2 - t^2}$$

2 log t = 1,78736 $t^2 = 61{,}28$ 2 log t' 2,08208 $t'^2 = 120{,}000$

$t'^2 - t^2 = 58{,}72.$

2 log t = 1,78736

Trägheitsmoment des Ringes log K' = 8,67706 (vorher bestimmt durch Messung und Wägung)*)

10,46442

log $(t'^2 - t^2)$ = 1,76879

Trägheitsmoment der Rose log K = 8,69563

K = 496,18 Mill. Einheiten.

*) Die Werthe K K' sind hier ausgedrückt als die Anzahl Milligramme, welche im Abstande 1 mm von der Drehungsaxe die Massen der betreffenden Systeme ersetzen.

$$M = \pi^2 \frac{K}{t^2 \cdot H}.$$

$2 \log \pi = 0{,}99430$ $\quad H = 2{,}065 \; \log H = 0{,}31492$

$\log K = 8{,}69563$ $\quad \log t^2 = 1{,}78736$

$9{,}68993$ $\quad 2{,}10228$

$\log H + \log t^2 = 2{,}10228$

$\log M = 7{,}58765$

$M = 38{,}70$ Mill. Einheiten

oder nach der Formel:

$$M = \frac{\pi^2 K'}{H(t'^2 - t^2)}$$

$2 \log \pi = 0{,}99430$

$\log K' = 8{,}67706$ $\quad \log H = 0{,}31492$

$9{,}67136$ $\quad \log (t'^2 - t^2) \; 1{,}76879$

$\log H + \log (t'^2 - t^2) = 2{,}08371$ $\quad 2{,}08371$

$\log M = 7{,}58765$

$M = 38{,}70$ Mill. Einheiten.

Schwingungen auf der Pinne.

Nach ganz derselben Methode lässt sich, wenn ein Schwingungskasten und Trägheitsring nicht zu Gebote stehen, das magnetische Moment einer Kompassrose durch Beobachtung der Schwingungen auf der Pinne des Kompasses in immer noch ausreichend genauer Weise bestimmen, indem man dabei als Belastung zwei oder vier flache, kreisrunde, homogene Metallstücke von genau gleichem Gewicht, also ganz einfach grössere Geldmünzen (z. B. silberne Fünfmarkstücke), benutzt.

Man verfährt hierbei wie folgt:

Die Rose wird auf die Pinne eines mit Peildiopter versehenen Kompasses gelegt. Nachdem sie sich im magnetischen Meridian eingestellt hat und auch der Faden des Diopters auf einen Kardinalpunkt der Rose gestellt ist, lenkt man sie etwa 20° aus ihrer Ruhelage ab und beobachtet eine Reihe Schwingungen, wobei die Durchgänge des Kardinalpunktes durch den Faden gezählt und die Zeiten des ersten und letzten Durchgangs nach einer Sekundenuhr notirt werden. Wiederholt man diese Manipulation, so erhält man eine Anzahl Schwingungsreihen, aus welchen t, die Zeitdauer einer Schwingung, abzuleiten ist.

Um t' zu ermitteln, wird die Rose arretirt und mit zwei resp. vier Gewichten oder Münzen, die in gleichen Abständen vom Drehpunkt der Rose auf die Nord- und Süd- oder Nord-, Süd-, Ost- und West-Linie gelegt werden, beschwert. Sodann lässt man sie langsam auf die Pinne nieder und wiederholt die Schwingungsbeobachtungen.

Es ist nun noch erforderlich, das Trägheitsmoment der Münzen K' zu bestimmen, welches, wenn man die Entfernung des Mittelpunktes derselben vom Drehpunkt mit a, den Durchmesser der Münzen mit d (in

Millimetern) und das Gewicht derselben in Milligrammen mit p bezeichnet, nach der Formel:

$$K' = (a^2 + {}^1/_8\, d^2)\, p$$

zu berechnen ist.

Beispiel:

Bestimmung des magnetischen Moments der Azimutkompassrose C. B. 1370:

a) Berechnung des Trägheitsmoments der gebrauchten Münzen

$$K' = (a^2 + {}^1/_8\, d^2)\, p$$
$$= \left(51{,}80^2 + \frac{37{,}90^2}{8}\right) 55\,435$$
$$= 2862{,}79 \times 55\,435$$
$$= 158\,698\,763{,}65.$$

b) Berechnung des magnetischen Moments

$$M = \frac{\pi^2 K'}{H(t'^2 - t^2)}$$

	sek.		sek.
t	$= 7{,}718$	t'	$= 8{,}873$
$\log t$	$= 0{,}88750$	$\log t'$	$= 0{,}94807$
$2 \log t$	$= 1{,}77501$	$2 \log t'$	$= 1{,}89614$
t^2	$= 59{,}568$	$t'^2 =$	$78{,}730$
		$t^2 =$	$59{,}568$
		$(t'^2 - t^2)$	$19{,}162$
$2 \log \pi$	$= 0{,}99430$	$\log H$	$= 0{,}31492$
$\log K'$	$= 8{,}19562$	$\log (t'^2 - t^2)$	$= 1{,}28244$
	$9{,}18992$		$1{,}59736$
	$1{,}59736$		
$\log M$	$= 7{,}59256$		
M	$= 39{,}13$ Mill. Einheiten.		

§ 93. Die Methode der Ablenkungen.

Zu dieser Methode bedient man sich eines Apparates, welcher im Wesentlichen aus einer in einem Kästchen freischwingenden Horizontalnadel und einer Schiene, rechtwinklig auf die Nadel gerichtet, zusammengesetzt ist. Die Schiene ist mit dem Kästchen fest verbunden und mit diesem um die Vertikalaxe der Nadel auf einem getheilten Kreise drehbar. Die Kompassrose, deren magnetisches Moment bestimmt werden soll, wird auf die Schiene gelegt, so dass ihre Magnete derselben parallel liegen; der Abstand vom Drehpunkt aus wird gemessen an einer auf der Schiene abzulesenden Theilung.

Sodann wird der Winkel bestimmt, um welchen die Horizontalnadel aus dem Meridian abgelenkt wird durch die rechtwinklig zur abgelenkten Nadel gerichtete Kompassrose. Dies geschieht dadurch, dass man eine Einstellung vornimmt, den Winkel abliest und die Rose auf der Schiene sodann um 180° dreht. Die Ablesung der Einstellung für diese Rosen-

lage ist um den doppelten Ablenkungswinkel von der ersten Ablesung verschieden.

An der um den Winkel φ abgelenkten Nadel sind zwei Kräfte im Gleichgewicht. Die Direktionskraft der Horizontalnadel $mH \sin\varphi$ strebt, die Nadel in den Meridian zurückzuführen. Die Kraft der Kompassrose in der Entfernung e also $\frac{M}{e^3}$ wirkt anziehend auf den einen Pol der Horizontalnadel mit dem Kraftmoment $\frac{Mm}{e^3}$ und abstossend auf den anderen Pol mit demselben Kraftmoment. Beide Momente wirken in demselben Sinne auf Drehung um die Vertikalaxe. Es ist also:

$$m\,H \sin\varphi = \frac{2\,Mm}{e^3}.$$

Daraus ergiebt sich:

$$M = \tfrac{1}{2}\,He^3 \sin\varphi.$$

Dieses Resultat ist nur eine erste Annäherung. Die Dimensionen sowohl der Nadel des Apparats als des Systems der Kompassrose sind vernachlässigt. Ihre Einführung würde das Problem sehr komplicirt machen. Eine Genauigkeit wie bei der Schwingungsmethode lässt sich auf diesem Wege nicht erreichen, als Methode zur Erlangung eines Näherungswerthes, wie ihn die Praxis in den meisten Fällen nur fordert, ist das Verfahren sehr geeignet.

Beispiel:

Bestimmung des magnetischen Moments der Azimutrose C. B. 1370 b.

$$M = \tfrac{1}{2}\,H \,.\, e^3 \,.\, \sin\varphi.$$

Ablesung { S Ende der Rose $= 112^\circ\ 45'$
{ N „ „ „ $= 147^\circ\ 55'$

$35^\circ\ 10'$

$\varphi = 17^\circ\ 35'$ log sin 9.48014 — 10

$l = 500$ mm log $e = 2{,}69897$ log e^3 8,09691

$H = 2{,}065$ $\tfrac{1}{2}\,H = 1{,}0325$ log $\tfrac{1}{2}\,H$ 0,01389

log $M = 7{,}59094$

$M = 38{,}99$ Mill.

§ 94. Die Konstruktion der Kompasse mit Rücksicht auf die Kompensation.

Bei der Theorie der Deviation, welche der Kompensation der Kompasse zu Grunde liegt, werden die auf den Kompass wirkenden magnetischen Elemente in einer Entfernung von der Kompassnadel angenommen, gegen welche die Länge dieser Nadel selbst als verschwindend klein angesehen werden darf.

Wird die Deviation nun durch Magnete ausgeglichen, welche in der Nähe des Kompasses angebracht werden, so ist für diese Magnete eine

solche Annahme nicht länger zulässig. Es ist daher zu untersuchen, welche Abweichungen durch die Länge der Kompassnadeln herbeigeführt werden und auf welche Art solche Abweichungen bei der Konstruktion der Kompasse beseitigt werden können.

Fig. 89.

Für diese Untersuchung nimmt man den Nord- und Südmagnetismus der Magnete in zwei Polen vereinigt an, welche von dem Drehpunkt C um die gleichen Abstände a entfernt sind.

Es bezeichne:

m die magnetische Kraft des Poles B der Nadel BB'

M die Kraft eines magnetischen Elements im Punkte A, dessen Entfernung vom Drehpunkt C mit b bezeichnet werde.

Dann ist die Kraft, mit welcher A auf B wirkt:

$$\frac{Mm}{AB^2}$$

und das Drehungsmoment für B mit den Bezeichnungen der Fig. 89

$$\frac{M.m.a}{c^2} \sin \varepsilon, \text{ und da } c \sin \varepsilon = b \sin \gamma$$

$$\text{I.} \quad \frac{M.m.a.b}{c^3} \sin \gamma.$$

Es ist

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,a\,b \cos \gamma$$

$$\frac{c^2}{b^2} = 1 + \frac{a^2}{b^2} - 2\,\frac{a}{b} \cos \gamma$$

$$\frac{b^3}{c^3} = \left(1 + \frac{a^2}{b^2} - 2\,\frac{a}{b} \cos \gamma\right)^{-\frac{3}{2}}$$

$$= 1 + \frac{9\,a^2}{4\,b^2} + 3\,\frac{a}{b} \cos \gamma + \frac{15\,a^2}{4\,b^2} \cos 2\,\gamma + \ldots\ldots$$

Daher

$$\text{II.} \quad \frac{M\,m\,a\,b}{c^3} \sin \gamma = M\,m\,\frac{a}{b^2} \left\{\left(1 + \frac{3\,a^2}{8\,b^2}\right) \sin \gamma + \frac{3\,a}{2\,b} \sin 2\,\gamma + \frac{15\,a^2}{8\,b^2} \sin 3\,\gamma \ldots\right\}.$$

Ist die Kraft des Pols B' gleich und entgegengesetzt $-m$, so ist, da

$$c'^2 = a^2 + b^2 + 2\,ab \cos \gamma,$$

für diesen Pol das Drehungsmoment:

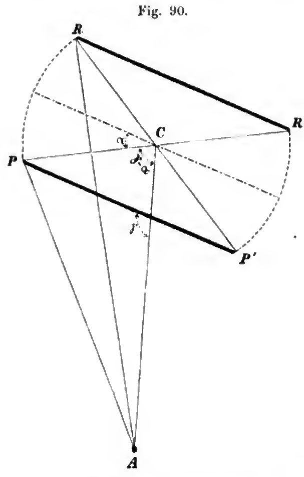
$$M\,m\,\frac{a}{b^2} \left\{\left(1 + \frac{3\,a^2}{8\,b^2}\right) \sin \gamma - \frac{3\,a}{2\,b} \sin 2\,\gamma + \frac{15\,a^2}{8\,b^2} \sin 3\,\gamma \ldots\right\}.$$

Das ganze Drehungsmoment von A auf die Nadel wird

$$\text{III.}\quad 2\,M\,m\,\frac{a}{b^2}\left\{\left(1+\frac{3\,a^2}{8\,b^2}\right)\sin\gamma+\frac{15\,a^2}{8\,b^2}\sin 3\,\gamma\right\}.$$

Während also nach der Deviationstheorie ein in sich selbst magnetisches Element nur eine semicirkulare Ablenkung auf den Kompass üben kann, tritt hier eine Ablenkung mit dem Faktor $\sin 3\,\gamma$, also eine sechstelkreisartige, auf, mit dem für nahe Magnete nicht unbedeutenden Faktor $\frac{15\,a^2}{8\,b^2}$. (Wäre also z. B. $b = 4\,a$, so würde einem semicirkularen Koëfficienten $1+\frac{1}{128}$ ein sechstelkreisartiger von $\frac{3}{8}$ gegenüberstehen.)

Fig. 90.



Wenn man dieselbe Betrachtung auf eine Kompassrose anwendet, welche statt eines Magneten als Durchmesser zwei diesem Durchmesser parallele Magnete trägt ($P\,P'$ und $R\,R'$ in Fig. 90), so ist der Halbmesser der Rose nach wie vor der Hebelarm, an welchem die auf die Pole wirkende Kraft angreift. Die Kraft greift aber jetzt unter einem andern Winkel an, verschieden von dem vorher auf den Magneten im Durchmesser bezogenen Winkel γ um den Winkelabstand α des jetzt betrachteten Magnetpols von diesem Durchmesser. Unter Beibehaltung der gebrauchten Bezeichnungen ist die Wirkung von A auf P (Fig. 90):

$$\frac{M\,.\,m}{P\,A^2},\ \text{das Drehungsmoment} = \frac{M\,.\,m\,.\,a\,.\,b}{P\,A^3}\sin(\gamma-\alpha)$$

$$P\,A = \sqrt{a^2+b^2-2\,a\,b\cos(\gamma-\alpha)}$$

und das Drehungsmoment auf R' ist:

$$\frac{M\,m\,a\,b}{R\,A^3}\sin(\gamma-\alpha).$$

Daraus erhält man die Drehungsmomente für den Durchmesser $P\,R'$

$$2\,M\,m\,\frac{a}{b^2}\left\{\left(1+\frac{3\,a^2}{8\,b^2}\right)\sin(\gamma-\alpha)+\frac{15\,a^2}{8\,b^2}\sin 3\,(\gamma-\alpha)\right\}$$

für den Durchmesser $R P'$ ist der Winkel $\gamma + \alpha$ einzusetzen:

$$2 M m \frac{a}{b^2} \left\{ \left(1 + \frac{3 a^2}{8 b^2}\right) \sin(\gamma + \alpha) + \frac{15 a^2}{8 b^2} \sin 3 (\gamma + \alpha) \right\}$$

woraus man das gesammte Drehungsmoment erhält:

$$\text{IV.} \quad 4 M m \frac{a}{b^2} \cos \alpha \left\{ \left(1 + \frac{3 a^2}{8 b^2}\right) \sin \gamma + \frac{15 a^2 \cos 3\alpha}{8 b^2 \cos \alpha} \sin 3 \gamma \right\}.$$

Wenn man nun die beiden Nadeln so anordnen kann, dass das zweite Glied Null wird, so ist ein Mittel gefunden, die von der Länge der Nadeln herrührende sechstelkreisartige Deviation zu vermeiden.

Dieses Glied wird aber Null für $\alpha = 30°$, das heisst für dieselbe Anordnung der Nadeln, welche bei Betrachtung des Trägheitsmoments der Rose als die günstigste ermittelt worden war.

Wenn diese weniger schwierigen, als weitläufigen Untersuchungen weiter geführt werden, so ergiebt sich für die Wirkung von weichem Eisen in der Nähe des Kompasses — welches aber nicht von der Kompassnadel selbst magnetisch afficirt ist — ebenfalls, dass die von der Länge der Nadeln herrührenden Abweichungen durch dieselbe Anordnung beseitigt werden.

Wird für M nämlich eingesetzt $M' \sin \gamma + M'' \cos \gamma$, also der Punkt A in beliebiger Weise quer- und längsschiffs magnetisch inducirt dargestellt, so tritt neben der semicirkularen und quadrantalen Deviation eine achtelkreisartige hervor (nämlich ein Glied mit dem Faktor $\sin 4 \gamma$).

Weiter erhält man für vier symmetrisch angeordnete Nadeln unter der Rose das Resultat, dass der sechstelkreisartige Fehler verschwindet, wenn die Nadeln jeder Seite gleiche Winkelabstände von der Sehne für 30° haben.

Die Anordnung der Magnete 15° und 45° vom Durchmesser rechtfertigt sich dadurch und zugleich die weitere symmetrische Vertheilung von acht Magneten bei den Thomsonschen Kompassrosen. Entwickelt man die oben gegebenen Reihen weiter, so gelangt man zu Abweichungen höherer Ordnung, welche durch die symmetrische Vertheilung vieler Nadeln immer vollkommener vermieden werden. Die mechanischen und magnetischen Anforderungen an die Kompassrose führen also gleichzeitig auf die Anwendung paralleler Magnetsysteme.*)

Beschreibung der in der Kaiserlichen Marine gebräuchlichen Kompasse.

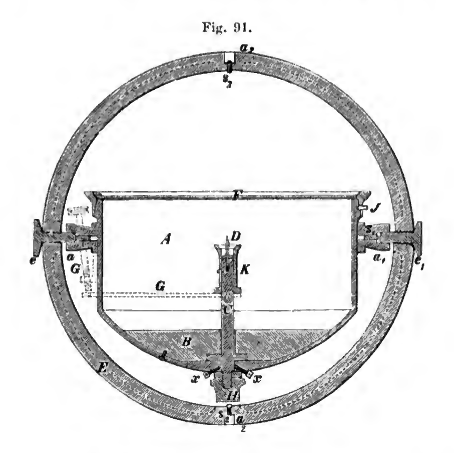
§ 95. Der Normalkompass.

Der Normalkompass wird vorzugsweise für Beobachtungen, die eine besondere Genauigkeit erfordern, benutzt.

*) Die mathematische Untersuchung wurde zusammen mit dem Ergebniss praktischer Experimente von Arch. Smith und F. J. Evans im Jahre 1861 veröffentlicht (Phil. Transact. Roy. Soc.), nachdem kurz vorher die Arbeiten des Liverpool Compass Committee in der Praxis auf gleiche Wahrnehmungen geführt hatten.

Die Büchse A (Fig. 91) aus Rothguss ist ein cylindrisches Gefäss, dessen Boden bauchig ausgeweitet ist. Am Boden desselben ist ein Bleigewicht B befestigt, welches dazu dient, den Schwerpunkt möglichst tief unter die Aufhängung der Büchse zu legen, damit letztere stets horizontal hängt. Centrisch im Boden ist der cylindrische Rosenträger C angebracht, in dessen oberem Ende ein Schraubengewinde zur Aufnahme der Pinne D

Fig. 91.



eingeschnitten ist. Gegen das untere, im Boden sitzende Ende des Rosenträgers drücken vier kleine, 90° von einander befindliche Schrauben $x\,x$, welche zur Korrektur des Trägers dienen. An zwei diametral gegenüber liegenden Stellen des Kessels befinden sich die Angüsse a und a_1, in welche cylindrische Löcher gebohrt sind, die als Lager für die Zapfenschrauben e und e_1 des in der Figur der besseren Uebersicht wegen senkrecht gestellten Balanceringes E dienen.

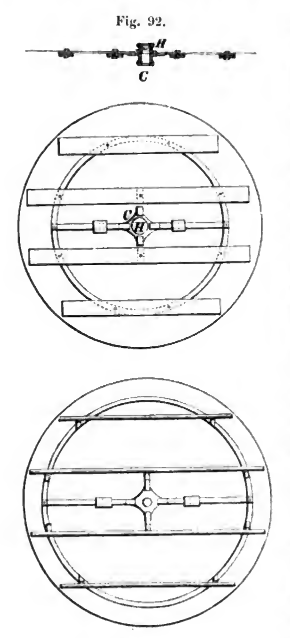
Die Angüsse haben eine solche Lage, dass die Verbindungslinie der Axen der Zapfenschrauben genau durch die Spitze der Pinne geht.

Der Balancering hat einen ⊢förmigen Querschnitt, um bei möglichster Leichtigkeit genügende Festigkeit gegen Verbiegungen zu erreichen, welche durch die Schwere des Kompasses herbeigeführt werden können und auf die Leichtigkeit der Bewegung in den Lagern störend wirken würden.

In gleicher Höhe mit den beiden Zapfen des Balanceringes und genau rechtwinklig zu denselben befinden sich die Zapfenlöcher a_1 und a_3, in welchen der ganze Kompass mit Balancering zwischen Schraubenzapfen des Kompasshauses oder des Gehängebogens aufgehängt werden kann. Damit die Beweglichkeit der Kompassbüchse eine möglichst leichte sei, müssen die Zapfen in der Richtung ihrer Axen ein wenig Spielraum haben, welcher durch die Schrauben s s_1 s_2 s_3 begrenzt und regulirt werden kann.

Die Büchse ist durch einen abnehmbaren Glasdeckel F geschlossen.

Fig. 92.



Im Innern des Kessels sind vier 90° von einander entfernte, je mit einem schwarzen Steuerstrich versehene versilberte Platten so angeschraubt, dass die Vertikalebene je zweier gegenüber liegender Striche mit derjenigen der Axen der kardanischen Aufhängung zusammenfällt. Um Hütchen und Pinne beim Aufsetzen und Abheben der Rose zu schonen, ist die Arretirvorrichtung G angebracht, welche in der Figur durch punktirte Linien dargestellt ist. Sie besteht aus einem ungleicharmigen Hebel, dessen Drehpunkt in der Kesselwand liegt und welcher durch eine ausserhalb des Kessels angebrachte Schraube hoch und tief gestellt werden kann. Der Hebel wirkt nämlich auf die über den Rosenträger gestreifte Hülse K, welche oben zu einem unter die Rose greifenden Teller ausgeweitet ist.

Zu dem Normalkompass gehören zwei Rosen (Fig. 92) von 196 mm Durchmesser mit vier Lagen Doppellamellen-Magnete. Die aus Glimmerscheiben hergestellten und mit Papier überzogenen Karten haben eine von N durch O, S u. W bis 360° zählende Gradtheilung in Unterabtheilungen von $1/3$° und eine Steuertheilung in Viertelstriche.

Die vier Magnete sind auf einem dünnen Messingring parallel zu einander derartig befestigt, dass die Polenden der inneren Doppellamellen mit dem Centrum des Ringes einen Winkel von 15°, die der äusseren

einen solchen von 45° einschliessen. In der Mitte des Ringes befindet sich eine kleine Platte, von welcher vier dünne Speichen ausgehen, zur festen Verbindung des Systems. Zur Aufnahme des Hütchens *H* ist die Platte in der Mitte mit einem Schraubengewinde versehen. Die Verbindung der eigentlichen Rose mit dem am Ringe befestigten Magnetsystem ist durch acht kleine Schrauben, die genau 45° von einander entfernt sind, bewirkt. Die Speichen des Ringes, die mit der Nord-Südlinie der Karte zusammenfallen, sind mit zwei verschiebbaren Messinggewichtchen versehen, um die Rose in den verschiedenen geographischen Breiten horizontiren zu können.

Die Normalrose ist so eingerichtet, dass sie sich zur Bestimmung der Kollimation der magnetischen Axe umlegen lässt, d. h. dass die untere Fläche zur oberen gemacht werden kann. Zu diesem Zweck ist das auf zwei Seiten hohl ausgeschliffene Rubinhütchen *H* in einen kleinen Messingring gefasst, welcher sich in einer cylindrischen Hülse *C* genau centrisch zur Theilung und rechtwinklig zur Ebene derselben nur soviel verschiebt, dass beim Umlegen der Aufhängepunkt immer über den Schwerpunkt des ganzen Systems zu liegen kommt. Die Magnetlamellen sind hier flach gelagert, weil bei Hochkantlagerung, wenn der Aufhängepunkt in beiden Lagen nahe in der Kartenebene und über dem Schwerpunkt liegen soll, die Magnete zur Hälfte ihrer Flächen die Karte durchdringen müssten, was die Unveränderlichkeit beeinträchtigen würde. Auf der unteren Kartenfläche sind die vier Hauptstriche N, O, S, W und zu beiden Seiten derselben noch sechs bis acht kleine $1/2$° darstellende Striche aufgetragen, die genau mit der oberen Rosentheilung zusammenfallen. Es ist hier also der Vortheil der Unveränderlichkeit der magnetischen Horizontalaxe zu Gunsten des Umlegens der Rose aufgegeben, da die Bestimmung der Kollimation jederzeit ausgeführt werden kann und eine vergleichende Untersuchung anderer Rosen derselben Grösse dadurch ermöglicht wird.

Die zweite Rose des Normalkompasses ist nicht zum Umlegen eingerichtet, und die Magnete sind hier hochkantig mit der Rosenkarte verbunden. Der Aufhängepunkt des Rubinhütchens liegt ungefähr 1,5 mm über der oberen Kartenebene. Das eingefasste Hütchen lässt sich, nachdem die obere Mutter entfernt ist, ausschrauben und gegen ein beigegebenes Reservehütchen vertauschen. Die Auswechselung soll jedoch nur stattfinden, wenn das Hütchen beschädigt ist, da die Centrirung des ganzen Systems dabei leiden kann.

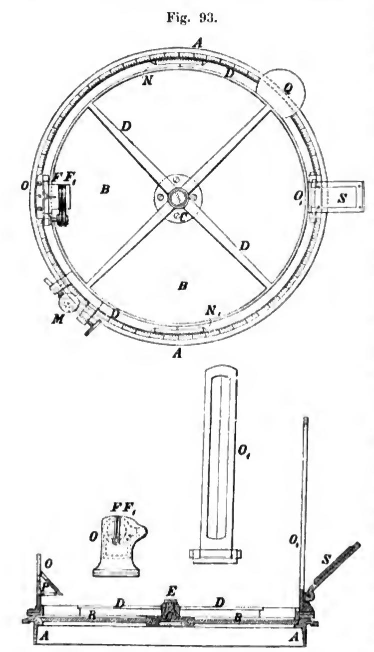
Das magnetische Moment dieser Rosen beträgt 34 bis 40 Millionen Gausssche Einheiten.

§ 96.

Der Peilapparat ist auf einem Glasdeckel angebracht, welcher gegen den gewöhnlichen Glasdeckel der Kompassbüchse ausgetauscht

werden kann. Gegen Drehungen auf der letzteren ist er durch den im Rande befindlichen Stift (J in Fig. 91), welcher in einen Schlitz des Aufsatzringes tritt, gesichert. Die Glasscheibe des Aufsatzringes (B in Fig. 93) ist centrisch durchbohrt. In dieser Bohrung sitzt, durch eine Platte und Schrauben gehalten, der konische Zapfen C, auf welchen der in der Mitte mit einer Buchse versehene Alhidadenkreis D aufgesetzt und gegen das Abheben durch die mit Federunterlage versehene Schraube E gesichert ist.

Fig. 93.



Der obere Rand des Aufsatzringes ist nach aussen abgeschrägt und mit einer Kreistheilung in halben Graden versehen, welche von 0 bis 360° in der Richtung von Nord über Ost nach Süd zählt.

Der mit vier Speichen versehene Alhidadenkreis, welcher sich centrisch um die Vertikalaxe der Pinne dreht, trägt die diametral angeordneten Diopter und rechtwinklig zur Diopterebene zwei gegenüber liegende Nonien N und N_1, welche eine Ablesung der Kreistheilung auf einzelne Minuten gestatten.

Das Okulardiopter O ist unbeweglich auf den Alhidadenkreis aufgeschraubt; es hat eine Höhe von 47 mm und ist mit einem vertikalen Schlitz versehen, der nach unten in eine kreisrunde Oeffnung endet. Vor dieser Oeffnung sitzt in einer Fassung ein gleichschenkliges, rechtwinkliges Prisma P, dessen eine ebene Kathetenfläche an der Vorderfläche des Diopters anliegt; die andere horizontal liegende Kathetenfläche ist

sphärisch geschliffen, so dass sie als Lupe wirkt und zur Ablesung der Rosentheilung dient. Die Fassung des Prismas ist oben am Diopterspalt etwas breiter als dieser ausgeschnitten, damit die reflektirende Kante des Prismas in der Visirlinie frei liegt. Hierdurch ist es möglich, durch die Oeffnung des Prismas die Rosentheilung und über der Kante desselben den Faden des Objektivdiopters und das eingestellte Objekt gleichzeitig wahrzunehmen und die Peilung abzulesen.

Vor dem Okulardiopter sind zwei Vorschlaggläser, ein rothes und ein grünes ($F F_1$), angebracht, die bei Sonnen- und Mondbeobachtungen benutzt werden.

Das Objektivdiopter O_1 hat eine Höhe von 166 mm, eine Ausschnittsweite von 15 mm und lässt sich mittelst eines Charniers auf den Kreis niederkippen. Im Ausschnitt des Diopters ist genau vertikal ein Rosshaar ausgespannt. Am unteren Ende des Objektivdiopters ist ein schwarzer Spiegel S angebracht, welcher sich um eine zur vertikalen Visirebene rechtwinklige Horizontalaxe drehen lässt und bei Peilung astronomischer oder sehr hoch liegender Objekte zu Hülfe genommen wird.

Zum feinen Einvisiren der Objekte ist der Alhidadenkreis mit dem Mikrometerwerk M versehen, dessen Einrichtung in der Figur angedeutet ist. Auf der diametral gegenüber liegenden Stelle des Alhidadenkreises ist das scheibenförmige Kontregewicht Q angebracht.

Das Stativ (Fig. 94) hat einen scheibenförmigen Metallkopf P, der nach oben in einen konischen Zapfen Z von etwa 70 mm Höhe endet. Die hölzernen Stativfüsse F F_1 F_2 haben eine Länge von 1330 mm und enden in messingnen Spitzen, über welche kurze Vorsprünge angebracht sind, um das Stativ in den Boden eintreten zu können. Die Füsse sind am Stativkopf beweglich und können durch die Flügelmuttern K in jeder Lage festgestellt werden.

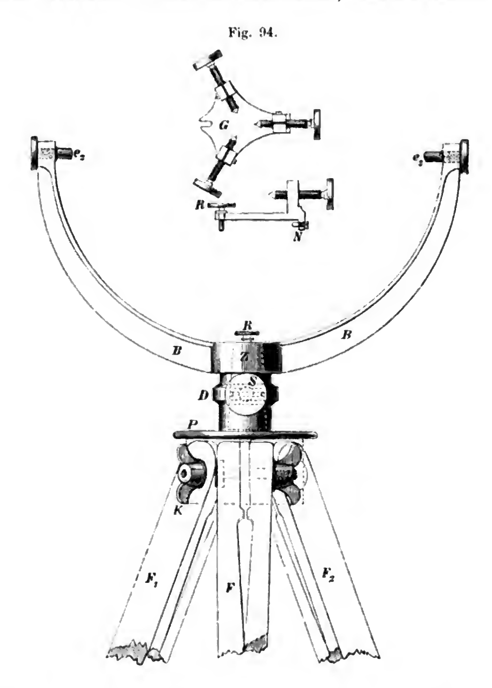
Der Gehängebogen B endet nach unten in einer konisch ausgebohrten Buchse D, die genau passend auf dem Zapfen Z des Stativs aufgeschliffen ist und sich auf demselben drehen und mittelst der Klemmschraube S festsetzen lässt. Die an den Armenden des Bogens befindlichen Schraubenzapfen e_2 e_3 dienen zur Aufnahme des Kompasses.

Für den Gebrauch des Kompasses auf dem Stativ ist noch eine Vorrichtung vorhanden, die nach einer beigegebenen Dosenlibelle die Horizontirung und Feststellung des Kompasskessels gestattet. Am Boden des Kessels ist für diesen Zweck ein mit drei Flächen versehener Dorn H auf eine aus Fig. 91 ersichtliche Weise angeschraubt, der beim Nichtgebrauch durch Abschrauben mit der Hand entfernt werden kann.

Die Horizontirvorrichtung, in Fig. 94 in zwei Lagen dargestellt, lässt sich auf die Oberfläche der Buchse des Gehängebogens aufschieben und wird durch die Nase N, welche in ein an der Seitenwand der Buchse

befindliches Loch tritt, sowie durch die Klemmschraube *R* festgehalten, indem letztere den gabelförmigen Ausschnitt *G* auf die Oberfläche der Buchse festklemmt. Durch die Stellschrauben, zwischen welchen der

Fig. 94.



Dorn *H* (Fig 91) der Kompassbüchse hängt, lässt sich sodann die Horizontirung des Kompasses nach der auf den Glasdeckel aufzusetzenden Dosenlibelle bewerkstelligen.

Die Grösse der Dosenlibelle ist so gewählt, dass sie sich auf den scheibenförmigen Kopf des Stativs aufsetzen lässt, damit auch der Zapfen vertikal gestellt werden kann.

§ 97. Der Azimutkompass.

Der Azimutkompass ist in allen Theilen nach demselben Modell und denselben Dimensionen wie der Normalkompass gefertigt und wurde bis vor Kurzem vorzugsweise als Regelkompass an Bord benutzt. Diesem Zweck entsprechend haben nachstehende kleine Abweichungen, durch welche er sich vom Normalkompass unterscheidet, bei der Konstruktion stattgefunden:

1. Der Peilapparat ist nur in volle Grade getheilt, und an Stelle der Nonien sind zwei Indexstriche genau 90° von der Visirlinie angebracht, welche eine Ablesung der Theilung auf ganze und eine Schätzung auf Zehntelgrade ermöglichen. Zu beiden Seiten des Okulardiopters befinden sich zwei scheibenförmige kleine Gewichte am Alhidadenkreis, die als Kontregewichte für den am Objektivdiopter befindlichen Spiegel dienen.

2. Dem Kompass sind zwei Rosen beigegeben, welche, mit *A* und *B* bezeichnet, der nicht umlegbaren Rose des Normalkompasses vollständig gleich sind.

§ 98. Der Steuerkompass.

Der Steuerkompass ist ausschliesslich für den Gebrauch vor dem Ruder bestimmt und hat demzufolge weder ein Stativ, noch eine Peilvorrichtung, weshalb auch die zum Azimutkompass gehörige Horizontirvorrichtung, Libelle etc. nicht erforderlich wird.

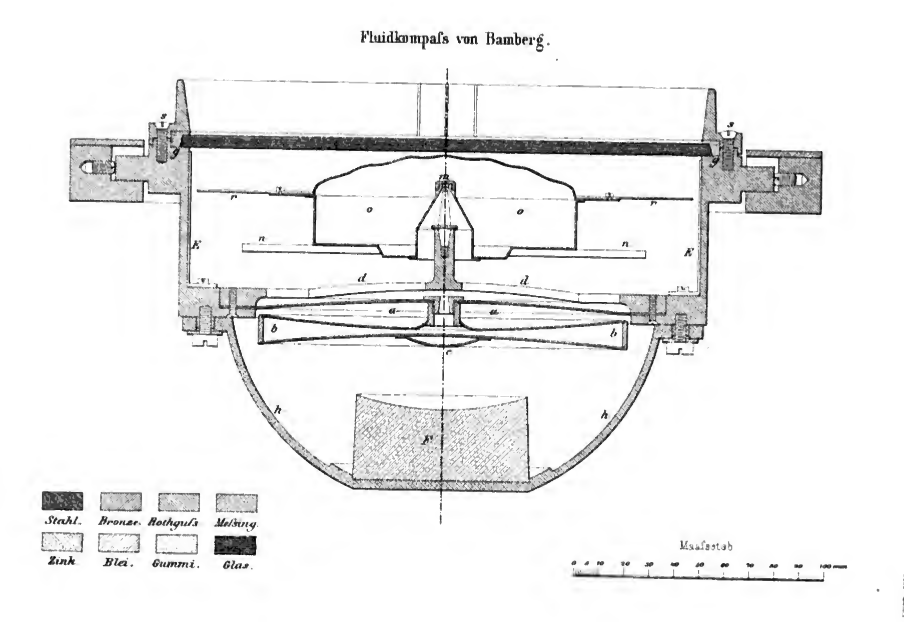
Im Uebrigen ist an und für sich der Steuerkompass dem vorher beschriebenen vollkommen gleich, auch lässt sich auf dem Rand desselben der Peilapparat eines Azimut- oder Normalkompasses aufsetzen. Nur die Pinnen weichen von den der anderen Kompasse ab und sind nicht zum Einschrauben in den Rosenträger eingerichtet, sondern enden in einem cylindrischen Schaft, welcher in die cylindrische Bohrung des Rosenträgers eingesteckt wird. Die Bohrung des Rosenträgers ist tiefer als die Länge des Schaftes und enthält eine Spiralfeder, auf welcher die Pinne ruht. Der Zweck dieser Federeinrichtung ist, heftige Stösse auf Rose und Pinne möglichst abzuschwächen.

Der Kompass ist mit drei Rosen, von denen zwei ebenso wie die Azimutkompassrosen konstruirt und bezeichnet sind, versehen. Die dritte sogenannte Sturmrose hat keine Gradeintheilung. Dieselbe gehört zu den nach Sir W. Thomsons Princip konstruirten Rosen, deren eingehende Beschreibung weiter unten erfolgen wird.

§ 99.

1. Der grosse Fluidkompass.

Die Kompassbüchse der Fluidkompasse hat dieselben Aufhängevorrichtungen und damit nahe gleiche Abmessungen, wie die bisher beschriebenen Kompasse. Die Füllung dieser Büchse mit einer Flüssigkeit bedingt wesent-


Fluidkompaſs von Bamberg.
Stahl.
Bronze.
Rothguſs
Meſsing.
Zink
Blei.
Gummi.
Glas.
Maaſsstab

liche Verschiedenheiten in der Konstruktion. Die Füllflüssigkeit besteht aus verdünntem Alkohol (80 % Alkohol, 20 % Wasser).*) Reines Wasser ist nicht anwendbar, einerseits wegen der Gefahr des Gefrierens, andererseits wegen der schwer zu vermeidenden organischen Verunreinigungen, namentlich bei gelegentlichen Nachfüllungen und der daraus entstehenden Trübungen etc. der Füllung.

Die starke Ausdehnung des Alkohols**) bei Zunahme der Temperatur macht mehr als bei anderen Füllflüssigkeiten eine besondere Einrichtung der Kompassbüchse erforderlich.

Diese Einrichtung besteht in der Anbringung eines elastischen Bodens von leicht gewelltem Metallblech *aa* Taf. XVI. Da die Elasticität desselben bei hinreichender Festigkeit für Alkohol nicht ausreicht, so ist derselbe bei den neueren Kompassen mit einem Doppelboden *bb* versehen, d. h. er ist in der Mitte durchbohrt und mit einem Reservoir in Verbindung, welches von elastischen Wänden eingeschlossen ist. Ein unter diesem Doppelboden angebrachter Bügel *c* hat den Zweck, beim Füllen des Kompasses die elastischen Wände durch ein angehängtes Gewicht anzuspannen, so dass nach Verschluss der Büchse und Entfernen des Gewichts die Flüssigkeit unter einem hinlänglichen Druck steht, um der Bildung von Blasen unter dem Glasdeckel vorzubeugen.

Der Verschluss der Kompassbüchse wird bewirkt durch den Glasdeckel mit umgelegtem Gummiring *gg*. Ein darüber gelegter Metallring — mit hohem Ansatz für das Aufsetzen des Diopterdeckels der Azimutkompasse versehen — wird durch eine Anzahl im Kreise um den Glasdeckel angeordneter Schrauben *ss* auf die Kompassbüchse festgepresst und stellt den vollständig dichten Verschluss her.

Zur Aufstellung des Pinnenträgers ist über dem elastischen Boden ein festes metallenes Kreuz in die Kompassbüchse eingesetzt. Eine kalottenförmige Haube von Zink *hh* schützt den elastischen Boden und trägt zugleich ein Bleigewicht *F*, um die Stabilität des Kompasses durch genügende Versenkung des Schwerpunktes zu sichern.

Um bei der starken Alkoholflüssigkeit jede Trübung durch chemische Reaktion auszuschliessen, ist im Innern des Kompasses keinerlei Farbe oder Lack zur Anwendung gebracht. Die Steuerstriche sind auf emaillirten Kupferstreifen *E E*, welche am Boden des Kompasses festgeschraubt und mit den Wänden verlöthet sind, aufgetragen.***)

*) Die früher verwendete Glycerinfüllung bestand aus 80 bis 85 % Wasser und 20 bis 15 % Glycerin.

**) Die oben angegebene Alkohol-Flüssigkeit nimmt bei einer Erwärmung von 0° auf 30° um etwa 25 Tausendtheile ihres Volumens zu, während Wasser bei derselben Erwärmung nur um 4 Tausendtheile zunimmt.

***) Diese Beschreibung bezieht sich auf die neueste Konstruktion, eine grosse Zahl der in Gebrauch befindlichen Fluidkompasse weicht in einzelnen Details noch von derselben ab.

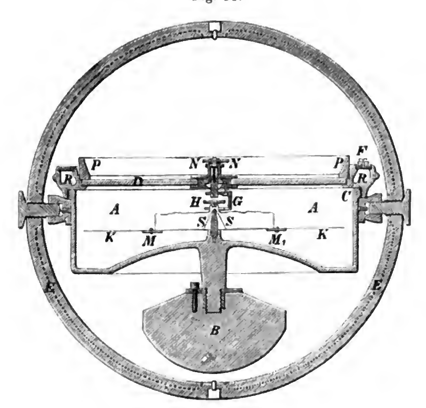
Die Kompassrose trägt die Grad- und Stricheintheilung auf einer Scheibe von dünnem emaillirten Kupfer *r r*, welche ringförmig ausgeschnitten um einen Schwimmer *o o* aus gewelltem vernickelten Messingblech befestigt ist.

Dieser Schwimmer bildet zugleich das Gerippe der Kompassrose und trägt in seiner unteren Höhlung das Rubinhütchen *m*, sowie in zwei verlötheten Messinghülsen die beiden flachliegenden aus je drei Lamellen zusammengefügten Magnete *n n*. Durch den mit Luft gefüllten Schwimmer wird die schwere Kompassrose in der Flüssigkeit so entlastet, dass sie mit nicht mehr als 15 bis 20 Gramm Gewicht auf der Pinne aufliegt, Dieser geringe Druck macht eine Arretirvorrichtung entbehrlich, welche sich nicht ohne Beeinträchtigung der einfachen Konstruktion an der Kompassbüchse anbringen liesse.

Der ältere Fluidkompass (Konstruktion nach Dent) unterscheidet sich von dem eben beschriebenen durch das in Stelle des elastischen Bodens vorhandene Reservoir.

Die cylindrische Büchse *A* Fig. 95, deren Boden konkav gewölbt ist und in der Mitte einen am Ende mit Gewinde versehenen Dorn zur Auf-

Fig. 95.



nahme des Bleigewichts *B* trägt, wird oben abgeschlossen durch den aufgeschraubten und verkitteten hohlen Ring *R*, in welchen die Glasscheibe *D* wasserdicht eingesetzt ist.

Im Innern der Kompassbüchse befindet sich in der Verlängerung des Dorns ein kleiner Ansatz, welcher zur Aufnahme der Pinne dient.

Der hohle Ring *R*, der das Reservoir bildet, ist durch einen kurzen Kanal *C* mit dem inneren Raum der Kompassbüchse verbunden, damit die Flüssigkeit ein- oder austreten kann, je nachdem eine Ausdehnung oder Zusammenziehung der Flüssigkeit stattfindet.

Der Ring *R* ist an der Stelle, wo der Kanal in das Reservoir mündet, mit einem Loch zur Füllung des Kompasses versehen, welches durch die Füllschraube *F* verschlossen wird.

Die Rose hat einen Durchmesser von 210 mm und trägt am Rande dieselbe Steuertheilung wie die übrigen Rosen; die Gradeintheilung dagegen ist 14 mm vom Rande entfernt auf der Rose angebracht, damit dieselbe durch die Peilvorrichtung der Azimutkompasse abgelesen werden kann.

Die Magnete, zwei Lagen von je drei Lamellen, sind flach zu beiden Seiten des Aufhängepunktes angebracht und in wasserdichten Gummihülsen eingeschlossen. *N G H* in Fig. 95 stellt eine Arretirvorrichtung dar, welche wegen der Schwächung, welche das Deckelglas durch die Durchbohrung erleidet, bei allen Kompassen wieder beseitigt worden ist.

Alle übrigen Theile dieses Kompasses sind von derselben Grösse und Beschaffenheit wie die des vorher beschriebenen Fluidkompasses.

2. Der kleine Fluidkompass.

Derselbe ist genau nach demselben Princip konstruirt wie der vorhin beschriebene, nur die Dimensionen sind kleiner gehalten und entsprechen der Grösse der Rose, welche einen Durchmesser von 156 mm hat.

Ein Ansatz am Deckelring zur Aufnahme des Diopters fehlt bei den meisten, nur einige, welche auf ganz kleinen Fahrzeugen als Peilkompasse zur Verwendung gelangen, sind mit einem solchen und auch mit einem Diopter versehen. Der Durchmesser des Letzteren entspricht der Grösse des Kompasses, im Uebrigen ist er dem Azimutkompass-Diopter vollkommen gleich.

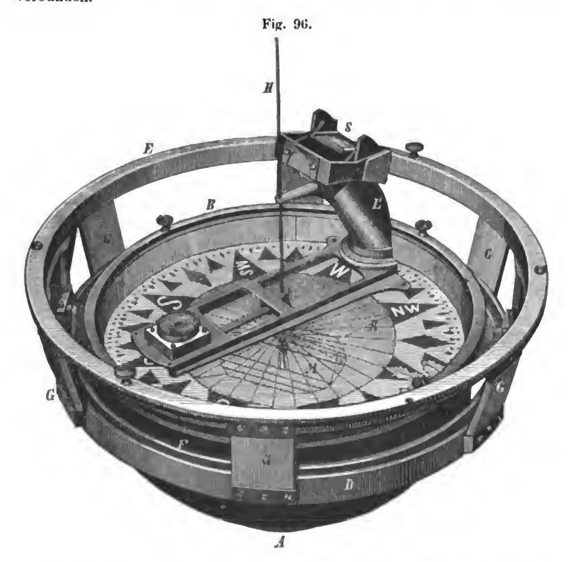
§ 100. Beschreibung des Thomsonschen Kompasses. (Fig. 96.)

Die Kompassbüchse (Fig. 96) ist nach unten gewölbt und durch einen Boden, in dessen Centrum der Rosenträger sitzt, in zwei hermetisch getrennte Theile *A* und *B* getheilt. Die Wölbung *B* unter diesem Boden ist mit Ricinusöl nahe gefüllt, um den Kompass möglichst horizontal zu balanciren und seine Schlingerbewegungen zu ermässigen. Oben wird die Büchse durch einen Deckel abgeschlossen, der innen mit einem Gummiring so versehen ist, dass er auf den Rand des Kessels mittelst

vier Schrauben fest zum Schutz gegen Eindringen von Feuchtigkeit angepasst werden kann.

In Stelle der cylindrischen Zapfen der kardanischen Aufhängung sind prismatische Schneiden sowohl am Kessel, als auch am inneren Balanceringe angebracht, die in flachen Lagern der Ringe *D* und *F* ruhen (Fig. 97). Der äussere Ring *D* ist durch sechs starke Gummibänder *G* mit dem Ringe *E*, welcher auf dem Kompasshause festgeschraubt wird, verbunden.

Fig. 96.

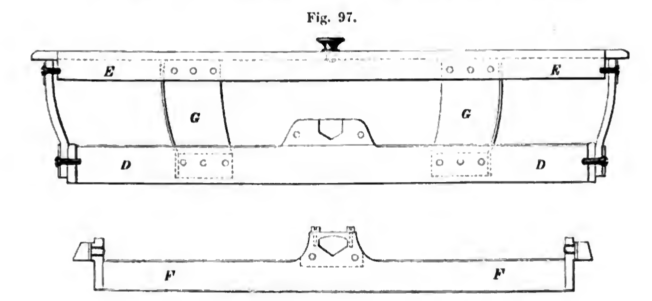


Das Gerippe der Rose besteht aus einem leichten Aluminiumring, von welchem in gleichmässigen Zwischenräumen 32 Seidenfäden oder feine Kupferdrähte nach einer kleinen Aluminiumbuchse im Centrum gespannt sind.

Die Rose selbst besteht aus leichtem Papier, der ganze mittlere Theil derselben ist herausgeschnitten und nur so viel stehen geblieben, als erforderlich ist, um eine deutliche Eintheilung nach Strichen und Graden zu zeigen.

Die erwähnte Buchse im Centrum des Ringes, aus einer flachen Aluminiumscheibe bestehend, ist am Rande mit 16 kleinen Löchern für die Seidenfäden resp. Kupferdrähte und in der Mitte mit einem runden

Fig. 97.



Loch versehen, mit welchem die Rose über ein Aluminiumhütchen gestreift wird, auf dessen überstehendem Rand sie mit der flachen Aluminiumbuchse aufruht. Das Hütchen ist mit einer Sapphirkuppe versehen, mit welcher es auf einer Iridiumpinne ruht.

Die Magnete, acht kleine Nadeln von 8,2 bis 5,1 cm Länge, sind aus Stahldraht gefertigt und wiegen zusammen 3,5 g. Dieselben sind parallel neben einander durch zwei seidene Fäden wie die Stufen einer Strickleiter befestigt und zu einem System vereinigt, welches von vier Seidenfäden oder feinen Kupferdrähten, die von dem äusseren Aluminiumring nach den vier Enden der beiden äussersten Nadeln laufen, getragen wird.

Das Gewicht der Aluminiumbuchse und des äusseren Ringes beträgt etwa 0,3 g. Das ganze Gewicht, mit welchem eine 25,4 cm grosse Rose auf der Iridiumpinne ruht, ist 11,4 g und das magnetische Moment derselben 2,0 bis 2,7 Millionen Gausssche Einheiten.

§ 101.

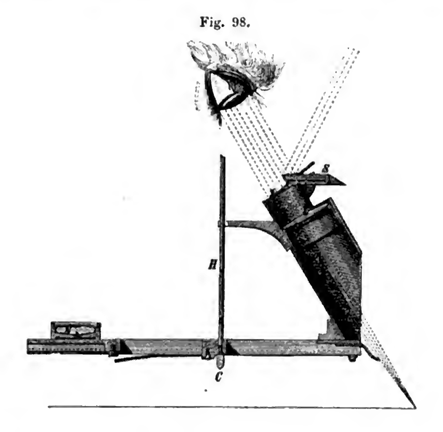
Der zum Peilen dienende Azimutspiegel (Fig. 98) ist mit Rücksicht darauf, dass das gewöhnliche Kompassdiopter bei der Anbringung von Korrekturen zur Beseitigung der quadrantalen Deviation in seiner Anwendung beschränkt wird, für diesen Kompass besonders konstruirt worden.

Der auf dem Princip der Camera lucida beruhende Apparat besteht aus einem auf den Glasdeckel des Kompasses aufzusetzenden Rahmen,

auf dessen einem Ende sich die Linse in Messingfassung befindet. Auf dem anderen Ende des Rahmens ist eine kleine Dosenlibelle *N* befestigt, und ungefähr in der Mitte desselben befindet sich ein Loch, durch welches die centrische Aufstellung des Apparats zur Kompassrose ermöglicht wird.

Um ein Verschieben des Apparats zu verhindern, ist im Centrum des Kompassdeckels eine kleine Vertiefung eingeschliffen. Ein Messingstift *H* ruht mit dem unteren Ende *C* in der Vertiefung des Glasdeckels.

Fig. 98.



Die Fokallänge der Linse wird nach Thomsons Angabe ungefähr 12 % länger genommen, als der Radius der Kompassrose. Dadurch ist bewirkt, dass zwei Objekte, welche um 1° von einander im Horizont entfernt sind, auf der Kompassrose um einen Raum von 1,12° der Rosentheilung aus einander stehen. Dieser Fehler nimmt mit der Höhe der Objekte bis zu 27° ab, wo derselbe 0 wird (sec 27° = 1,12), und wächst sodann wieder, bis bei 38° derselbe Fehler wie im Horizont stattfindet. Von da ab wächst der Fehler schnell, aber selbst bei 60° ist der Fehler der Peilung geringer als der halbe Fehler der Einstellung.

Der Spiegel *S*, welcher um seine horizontale Axe drehbar ist, befindet sich auf der Messingfassung der Linse, auf welcher ausserdem noch ein rothes und ein grünes Vorschlagglas für Sonne- und Mondbeobachtungen angebracht sind.

§ 102. Der Bootskompass.

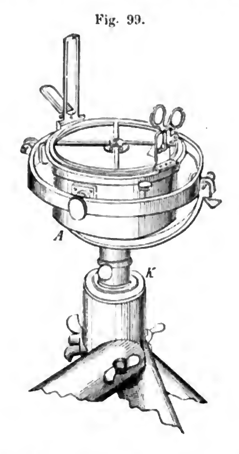
Der Bootskompass ist für den Gebrauch in Booten als Steuerkompass und zu kleineren Arbeiten am Lande als Azimutkompass bestimmt.

In der Büchse, welche am Boden mit einem Bleigewicht beschwert ist, befinden sich die gewöhnlichen Steuerstriche. Die Einrichtung des Rosenträgers, der Arretirvorrichtung etc. ist dieselbe wie beim Normalkompass. Der Balancering ist von einfachem, rechteckigem Querschnitt und mit Zapfen versehen, welche in halbrunde Lager des Kastens eingelegt werden.

Die Rose des Bootskompasses hat einen Durchmesser von 118 mm, eine Steuertheilung in Viertelstriche und eine Gradtheilung in halbe Grade, welche ebenfalls von 0° bis 360° durchgetheilt, aber nur mit einer durch das Prisma des Diopters ablesbaren Bezifferung versehen ist. Die beiden aus drei Lamellen bestehenden Magnete sind symmetrisch 30° zu beiden Seiten der Nord-Südlinie unter der Rosenkarte angebracht.

Für die Zusammenstellung als Azimutkompass ist ein Peilapparat, welcher ganz so wie der der grossen Azimutkompasse, nur entsprechend

Fig. 99.



kleiner, konstruirt ist, so wie ein Stativ und Gehängebogen vorhanden. Auf den massiven cylindrischen Holzkörper des Stativs ist der metallene Stativkopf *K* (Fig. 99) geschraubt, auf welchem der mit Lagern versehene

Gehängebogen sich dreht und mittelst einer Klemmschraube festgesetzt werden kann.

Der **Bootsfluidkompass** hat dieselbe Einrichtung wie der grosse und der kleine Fluidkompass, jedoch noch kleinere, dem gewöhnlichen Bootskompass gleiche Dimensionen.

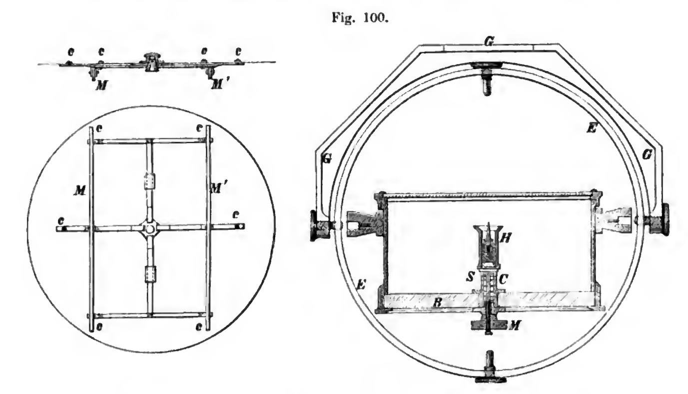
Die Rose hat keine Gradeintheilung.

§ 103. Der Hängekompass.

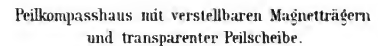
Dieser für den Gebrauch in der Kajüte bestimmte Kompass (Fig. 100) ist so eingerichtet, dass er unter Deck befestigt und von unten abgelesen werden kann.

Das Gehäuse besteht aus einer cylindrischen Büchse, deren Boden *B* (Fig. 100) aus einer starken Glasscheibe gebildet wird, die durch einen schweren Fassungsring, welcher gleichzeitig als Belastungsgewicht dient,

Fig. 100.



mit der Büchse verbunden ist. Die Glasscheibe ist in der Mitte durchbohrt, um den Rosenträger *C* aufzunehmen. Die auf dem Rosenträger gleitende Arretirhülse *H* wird hier nicht durch einen ungleicharmigen Hebel wie bei den übrigen Kompassen, sondern durch einen mit zwei Ansätzen versehenen Messingcylinder, der in dem durchbohrten Rosenträger auf einer Spiralfeder ruht und mit einer durch den Glasboden gehenden Schraube in Verbindung steht, durch Drehen der Mutter *M* auf und nieder bewegt.



Peilkompasshaus mit verstellbaren Magnetträgern
und transparenter Peilscheibe.

Die Rose von 158 mm Durchmesser, von 1/4 zu 1/4 Strich getheilt, besteht aus weisser Seide, die um einen leichten Kupferring gespannt ist; dieselbe ist durch kleine Schrauben mit dem Messinggerippe des Magnetsystems (*c c c c* in der Figur) verbunden.

Das magnetische Moment einer solchen Rose beträgt 17 bis 20 Millionen Gausssche Einheiten.

Hütchen und Pinnen sind dieselben wie die der Azimutkompasse.

§ 104. Das Peilkompasshaus mit verstellbaren Magnetträgern und transparenter Peilscheibe.

Das Kompasshaus (Tafel XVII) hat neben der Aufgabe, den Kompass aufzunehmen, den Zweck, das allgemein erforderlich gewordene Kompensiren der Kompasse zu erleichtern und ein wenig zeitraubendes Verlegen der Magnete etc. zu ermöglichen.

Der untere Theil des Kompasshauses, ein messingener mit verschliessbarer Thür versehener Hohlcylinder von 95 cm Länge, 19 cm Durchmesser und 3,5 mm Wandstärke, ist am unteren Ende mit einer Anzahl Löcher versehen, durch welche mittelst Holzschrauben die Befestigung des Cylinders auf einem vom Deck aus in denselben hineinragenden Holzkörper bewirkt wird. Nahe dem oberen Ende, etwa 5 cm über dem oberen Thürausschnitt, ist ein Rundstäbchen um den Cylinder genietet, welches als Stütze für den Kugelkorrektorenhalter dient.

Im Innern des Cylinders ist am oberen Ende und etwa 25 cm vom unteren Ende desselben je ein Messingkreuz *a a* befestigt. Dieselben haben in der Mitte je eine Buchse, welche als Halter der vertikal stehenden, um sich selbst drehbaren Röhre *b* dienen.

Auf dieser Röhre befinden sich zwei rechtwinklig zu einander stehende Magnetträger *c c*, welche zur Aufnahme von vier Magneten eingerichtet sind. Dieselben gleiten auf der Röhre auf und ab und lassen sich in jeder beliebigen Höhe mittelst der Knebelschrauben *d d* festklemmen.

Ein dritter Magnetträger *e*, zur Aufnahme des Krängungsmagneten bestimmt, befindet sich innerhalb der genannten Röhre. Derselbe besteht aus einer Hülse, welche in jeder beliebigen Höhe festgeklemmt werden kann. Für letzteren Zweck ist die Hülse mit einer Anzahl von unter einander stehenden Schraubenlöchern und die Röhre, welche sie umschliesst, mit einem Ausschnitt ihrer ganzen Länge nach versehen. Das Festklemmen wird durch die Kopfschrauben *f f* bewirkt; dieselben stecken in kleinen, dem Umfang der Röhre angepassten Messingplättchen, die durch Klötzchen, welche in den Ausschnitt der Röhre passen, verstärkt sind, und greifen in die Schraubenlöcher der Hülse, wodurch diese an die Innenkante der Röhre gepresst wird.

Auf dem oberen Messingkreuz des Hohlcylinders ist eine von 0 bis 360° in ganze Grade getheilte, ringförmig ausgeschnittene Scheibe befestigt,

und auf der drehbaren Röhre befindet sich ein über die Kreistheilung gleitendes Lineal, welches an dem einen Ende eine Platte mit Indexstrich und am anderen Ende eine Klemmvorrichtung trägt. Letztere greift um den Rand der Scheibe und ist mit einer oben ein Vierkant tragenden Schraube versehen, welche mit dem beigegebenen — auch zur Thür des Kompasshauses passenden — Schlüssel gelöst und festgesetzt werden kann.

Ueber der Kreistheilung befindet sich ein abnehmbarer Deckel aus Messingblech, durch welchen das obere Ende des Hohlcylinders abgeschlossen und das Eindringen von Wasser in denselben verhindert wird.

Ferner ist zur Bestimmung des Abstandes der Magnete von der Kompassrose ein Massstab in dem Hohlcylinder untergebracht, dessen Theilung, entsprechend der Entfernung zwischen den Magneten der Rose und der Unterkante des oberen Messingkreuzes, mit 152 cm beginnt.

Um das obere Ende des Cylinders ist der bauchig ausgeweitete, zur Aufnahme des Kompasses dienende Kessel aufgenietet, welcher nach oben hin in einen starken Messingring endet. Letzterer ist mit zwei Paar Lagerlöchern versehen, deren vertikaler Abstand von einander der Differenz entspricht, um welche die Magnetnadeln der Thomsonschen und Fluidkompassrosen mehr unter den Aufhängepunkt versenkt sind, als die der gewöhnlichen Rosen.

Diese Einrichtung ist getroffen, um einer Aenderung der Deviation beim Auswechseln der verschiedenen Kompasse und Rosen vorzubeugen. Es müssen somit Fluidkompasse und Kompasse mit Thomsonschen Rosen stets in den oberen, dagegen Kompasse mit gewöhnlichen Rosen in den unteren Löchern hängen.

Die für beide Löcher passenden Zapfenschrauben, welche sich mittelst des beigegebenen Schlüssels aus- und einschrauben lassen, sind soweit versenkt, dass sie von dem Glasaufsatz verdeckt werden.

An der unteren Seite des Kessels sind mehrere kleine Löcher gebohrt, durch welche das bei abgenommenem Glasaufsatz etwa eindringende Wasser wieder ablaufen kann.

Der auf den Kessel zu setzende Glasaufsatz ist oben mit einer Peilscheibe versehen, deren äusserer Rand transparent ist, um Nachts bei erleuchtetem Kompass die Striche und Grade ablesen zu können.

Die Peilscheibe besteht aus zwei über einander gelagerten Glasscheiben, welche durch einen Messingrahmen verbunden sind. Zwischen denselben befindet sich eine im Centrum drehbare Glimmerrose, und an der Peripherie der Scheiben, am Rande des Rahmens, sind vier Steuerstriche angebracht. Die Rosentheilung zählt von 0° bis 360° und ist für direkte und für Prismenablesung mit Zahlen versehen.

In der Mitte der Glasscheiben befindet sich genau centrisch ein durch Platten und Schrauben gehaltener konischer Zapfen, auf welchen das mit einer Buchse versehene Diopterlineal gestreift und gegen das Abheben durch eine Schraube gesichert wird. Die Diopter sind beide zum Umkippen

eingerichtet; das Okulardiopter ist mit einem Prisma zum Ablesen und einem Bügel zum gelegentlichen Einschrauben eines Oktantenfernrohres versehen.

Mit dem auf der oberen Glasscheibe sich drehenden Diopterlineal ist ein unter dieser Scheibe befindlicher Rahmen mit zwei gegenüberliegenden Indexzeigern verbunden, an welchen die Dioptereinstellung auch ohne Benutzung des Prismas abgelesen werden kann.

Ueber dem Diopterlineal, in der Mitte desselben, befindet sich ein Messingknebel zur beliebigen Einstellung der um sich selbst drehbaren Glimmerrose.

Zur Einstellung der Steuerstriche der Peilscheibe in die Vertikalebene der Steuerstriche des Kompasses ist die Peilscheibe mit einem Stift und der Glasaufsatz mit einem Lager für den Stift versehen; dieses Lager lässt sich mit Hülfe der an der Aussenseite des Aufsatzes befindlichen zwei kleinen Kopfschrauben einige Grade nach links und rechts verschieben.

Zum Schutz der Peilscheibe ist ein Messingdeckel vorhanden, welcher die Glaskappe abschliesst.

Aufstellung des Kompasshauses und Kompensirungsverfahren.

Das Kompasshaus ist entweder auf eine Säule oder einen Klotz, deren obere Enden etwa 24 cm in den Hohlcylinder treten, aufzustreifen, die Unterkante muss auf einem Absatz der Säule resp. des Klotzes aufruhen, damit das Messingkreuz, welches die drehbare Röhre hält, nicht verbogen wird. Die weitere Befestigung mittelst Holzschrauben durch die vorhandenen Löcher hat nur den Zweck, Drehungen des Kompasshauses auf der Säule oder dem Klotz zu verhindern.

Die Kompensirung kann sowohl nach der rechtwinkligen Methode, als auch in der Richtung der Resultante der halbkreisförmigen Deviation erfolgen. Im ersteren Falle ist, nachdem die Koëfficienten B und C oder auch nur die Deviation auf zwei 90° von einander liegenden Kardinalpunkten bekannt, die Klemmvorrichtung mittelst des Schlüssels zu lösen und die Röhren soweit herumzudrehen, bis einer der Magnetträger nahe längsschiffs ist. Sodann werden, der Grösse des zu kompensirenden Betrages entsprechend, 1 bis 4 Magnete in den Magnetträger gesteckt und die an der Seite desselben befindlichen kleinen Knebelschrauben, nachdem durch eine Drehung der Röhre um sich selbst konstatirt worden ist, dass die Magnete nirgend anstossen, fest angezogen.

In gleicher Weise ist mit dem zweiten Magnetträger zu verfahren, und sind sodann beide auf den Boden des Kompasshauses herunter zu lassen. Wird nun die Alhidade entsprechend eingestellt und mittelst der Klemmschraube festgesetzt, so liegen die Magnete längs- und dwarsschiffs für die in bekannter Weise auszuführende Kompensation bereit, die Magnetträger dürfen dann nur hochgeschoben und, sobald der Kompasskurs mit dem

15*

magnetischen Kurs übereinstimmt, mittelst der grossen über, bezw. unter den Magnetträgern befindlichen Knebelschrauben festgeschraubt werden.

Bei dem zweiten Kompensirungsverfahren ist die Kenntniss der Koëfficienten B und C erforderlich, um die Richtung der Resultante der halbkreisförmigen Deviation, welche bekanntlich $\frac{C}{B}$ = nat. tang α ist, berechnen zu können. Ausserdem müssen aber auch die Koëfficienten D und E ermittelt werden, weil die Ausscheidung der quadrantalen Deviation bei der Kompensirung unerlässlich ist.

Die Unterbringung etc. der Magnete geschieht in derselben Weise wie bei dem vorigen Verfahren, nur mit dem Unterschiede, dass hierbei nur einer der beiden Magnetträger gebraucht und die auf der drehbaren Röhre befindliche Alhidade nicht auf einen Quadrantenstrich der Kreistheilung, sondern in den berechneten Winkel eingestellt wird.

Liegt das Schiff nun auf irgend einem Kurse, so ist zunächst für diesen Kurs die quadrantale Deviation aus den bekannten Koëfficienten D und E nach der Formel

$$\delta = D \,.\, \sin 2\zeta' + E \cos 2\zeta'$$

zu berechnen und dieser Betrag auf die Gesammtdeviation des Kurses in Anrechnung zu bringen. Der so erhaltene Deviationsbetrag auf den anliegenden Kompasskurs angewandt, ergiebt den magnetischen Kurs $\pm$ der quadrantalen Deviation.

Der Magnetträger wird nun langsam der Rose genähert, bis dieselbe den zuletzt genannten Kurs anzeigt, sodann wird mittelst der Knebelschraube der Träger so fest als möglich angezogen, und ist nunmehr die halbkreisförmige Deviation für alle Kurse beseitigt. Zur Erläuterung des Vorstehenden mögen folgende Beispiele dienen:

1. Aus der beobachteten Deviation ist $\frac{C}{B} = \text{tang}\,\alpha = \text{tang}\,237°$, $D = +3{,}9°$ und $E = -0{,}9°$ berechnet. Das Schiff liegt NNO nach dem zu kompensirenden Kompass, die Gesammtdeviation auf diesem Kurse beträgt $-15{,}2°$; es soll die halbkreisförmige Deviation beseitigt werden.

Quadrantale Deviation auf diesem Kurse ist:

$$\begin{aligned}\delta &= D \,.\, \sin 2\zeta' + E \,.\, \cos 2\zeta' \\ &= +3{,}9° \,.\, \sin 45° + (-0{,}9° \cos 45°) \\ &= +3{,}9 \,.\, 0{,}707 + (-0{,}9 \,.\, 0{,}707) \\ &= +2 \,.\, 76° - 0{,}64° \\ &= +2 \,.\, 1°.\end{aligned}$$

Um diesen Betrag wird die halbkreisförmige Deviation auf dem Kurse NNO verringert, und es sind daher nicht $-15{,}2°$, sondern $-17{,}3°$ zu beseitigen. Die Magnete müssen also, nachdem die Alhidade auf 257° eingestellt ist, der Rose so lange genähert werden, bis dieselbe N 5,2° O anliegt.

2. Auf Grund derselben Deviationsbestimmung soll die halbkreisförmige Deviation beseitigt werden, während das Schiff nach dem zu kompensirenden Kompass WSW$^1/_2$W anliegt.

Quadrantale Deviation für diesen Kurs nach obiger Formel

$$= + 3{,}9 \,.\, \sin 253{,}1° \,.\, 2 + (- 0{,}9° \,.\, \cos 253{,}1° \,.\, 2)$$
$$= + 3{,}9 \,.\, \sin 146{,}2° + (- 0{,}9° \,.\, \cos 146{,}2°)$$
$$= + 3{,}9 \,.\, 0{,}556 + (- 0{,}9 \,.\, - 0{,}83)$$
$$= + 2{,}168° + 0{,}745$$
$$= + 2{,}9°.$$

Die Gesammtdeviation beträgt + 14,2° auf diesem Kurse; es ist, da beide Deviationen nach einer Seite fallen, die quadrantale Deviation von dem obigen Betrage abzuziehen und nur der Rest + 11,3° durch Kompensation fortzuschaffen. Die Magnete sind also so lange dem Kompass zu nähern, bis derselbe S 84,4° W anliegt.

Eine weitere Methode, die halbkreisförmige Deviation aufzuheben, besteht darin, die Entfernung der zur Kompensirung dienenden Magnete von dem Kompass am Lande zu ermitteln, doch muss alsdann neben B und C auch λ (die Richtkraft der Nadel an Bord) bekannt sein.

Hierzu ist eins dieser Kompasshäuser am Lande auf einem eisenfreien Platze aufzustellen und mit einem Kompass zu versehen. Sobald dieser sich beruhigt hat, wird das Kompasshaus so lange gedreht, bis der Kompass O oder W anliegt. Sodann werden in den längsschiffs stehenden Magnetträger — rechtwinklig zu den Nadeln der unabgelenkten Rose — dem zu kompensirenden Betrag $\lambda \,.\, B$, $\lambda \,.\, C$, oder auch $\lambda \sqrt{B^2 + C^2}$ entsprechend, 1 bis 4 Magnete gesteckt und dem Kompass so lange genähert, bis die hierdurch erzeugte Ablenkung desselben gleich einer der genannten Grössen λB u. s. w. ist. Der Abstand der Magnete von der Rose, welcher mit dem beigegebenen Massstab gemessen wird, ist die gesuchte Entfernung, in welcher dieselben Magnete in dem Kompasshause an Bord untergebracht werden müssen, um die halbkreisförmige Deviation aufzuheben. In ähnlicher Weise lässt sich auch der Abstand der zur Beseitigung der viertelkreisförmigen Deviation dienenden Kugelkorrektoren am Lande bestimmen. Man dreht das Kompasshaus so lange, bis der Kompass irgend einen Interkardinalstrich anliegt, setzt hierauf die Korrektoren auf die Halter und nähert beide gleichmässig dem Kompass, bis die verursachte Ablenkung dem Betrage des Koëfficienten D gleich ist. Die Entfernung der Korrektoren vom Mittelpunkt der Rose ist der Abstand, in welchem dieselben an Bord die viertelkreisförmige Deviation beseitigen. Die Krängungsdeviation wird am einfachsten mit Hülfe des Sir William Thomsonschen Vertical Force Instruments in der auf Seite 255 beschriebenen Weise kompensirt.

Korrektur und Benutzung der Peilscheibe.

Für die Benutzung der Peilscheibe ist zunächst erforderlich, dass die Steuerstriche derselben mit denen des Kompasses in eine Vertikalebene gebracht werden. Hierbei ist wie folgt zu verfahren:

Mit dem Kompassdiopter wird, wenn das Schiff still und vierkant liegt, irgend ein Objekt oder Marke am Mast etc. einvisirt und sowohl die

Diopterstellung als auch der anliegende Kurs abgelesen; sodann wird der Glasaufsatz aufgesetzt und die Rose der Peilscheibe auf den am Kompass abgelesenen Kurs und das Diopter auf die abgelesene Peilung eingestellt. Treffen nun die Diopter den mit dem Kompass anvisirten Punkt nicht, so sind die kleinen, an der Aussenkante des Glasaufsatzes befindlichen Schrauben zu lösen, und die Peilscheibe ist, ohne das Diopter zu verstellen, so lange zu drehen, bis das Peilobjekt einspielt. Die Schrauben werden alsdann wieder fest angezogen, und bedarf es einer Wiederholung dieser Korrektur nicht wieder, wenn der Glasaufsatz mit einer Marke versehen und stets in derselben Lage wieder aufgesetzt wird. Beim Beobachten wird zunächst der nach dem Kompass anliegende Kurs auf der Peilscheibe eingestellt und sodann die Peilung in gewöhnlicher Weise vorgenommen. Giert aber das Schiff, so empfiehlt es sich, erst zu peilen, dann am Kompass abzulesen, welchen Kurs das Schiff anliegt, und, nachdem die Peilscheibenrose dementsprechend eingestellt ist, die Peilung abzulesen.

Selbstverständlich sind die Peilungen mit der Peilscheibe nur dann genau richtig, wenn das Schiff auf geradem Kiel liegt, krängt dieses, so entsteht ein Fehler, welcher dem cos der Neigung entspricht und demgemäss in der Längsschiffsrichtung am grössten, in der Dwarsschiffsrichtung dagegen Null ist.

§ 105. Vorschriften für die Prüfung der Kompasse.

I. Prüfung des Peilapparates.

a. Ob die Diopter parallel zu einander stehen.

Man visirt durch die Okularspalte den Faden des Objektivdiopter ein und bewegt das Auge so weit seitlich, dass der Faden scheinbar nur durch eine feine Lichtlinie von dem einen Rand der Okularspalte getrennt ist; ist diese Lichtlinie überall gleich breit, so stehen die Diopter parallel.

b. Ob die Diopter senkrecht zur Ebene des Kreises stehen.

Man visirt durch die Diopter ein Objekt scharf ein. Kippt man dann bei unveränderter Lage des ganzen Apparates das Objektivdiopter aus seiner vertikalen Lage allmählich auf die Ebene des Kreises nieder und der Faden schneidet in allen Lagen das Objekt, so wird das Objektivdiopter senkrecht zur Kreisebene stehen. Ob auch das Okulardiopter senkrecht steht, ergiebt sich durch Prüfung des Parallelismus beider, nach der unter a. angegebenen Methode.

c. Ob die Visirebene durch das Centrum der vertikalen Umdrehungsaxe geht.

Man visirt durch den Okularspalt ein möglichst scharf und hell begrenztes Objekt ein und liest die Nonien der Diopteralhidade ab; hierauf dreht man die Alhidade um 180° so, dass jetzt das Objektiv-

diopter dem Auge zunächst zu liegen kommt, und visirt nun über den Faden und Okularspalt das Objekt von Neuem ein. Wird dasselbe durch die Visirebene wieder geschnitten, so wird auch die Visirlinie durch das Centrum der Axe gehen. Die zweite Beobachtung gelingt ganz gut, wenn man das Auge in ungefähr 0,5 m Entfernung vom Objektivfaden hält, so dass Faden, Spalten und Objekt nahezu gleich deutlich wahrgenommen werden. Richtet man dann das Auge so ein, dass der schwarze Faden genau als Verlängerung der hellen Spalte erscheint, so lässt sich das Objekt noch recht scharf an dem Trennungspunkt von Spalt und Faden einstellen. Uebrigens wird ein Fehler dieser Art nur bei sehr mangelhaft gearbeiteten Instrumenten wahrnehmbar sein, da die Excentricität der Visirlinie schon sehr erheblich sein muss, wenn sie überhaupt durch Diopter erkannt werden soll.

d. Ob die Reflexionsebene des Diopterspiegels mit der Visirebene zusammenfällt.

Man neigt den ganzen Peilapparat so, dass man beim Visiren durch das Okulardiopter bei gehöriger Stellung des Spiegels ein Spiegelbild vom Objektivdiopter erhält. Decken sich dann beim Drehen des Spiegels um seine Axe in jeder Lage der Faden und das Spiegelbild desselben, so ist die Bedingung erfüllt. Abweichungen hiervon lassen sich korrigiren, indem man die Schrauben, mit welchen die Spiegeleinrichtung am Objektivdiopter befestigt ist, mit Hülfe eines Schraubenziehers etwas löst und den Spiegel seitlich so lange dreht, bis die verlangte Koincidenz des Fadens und seines Spiegelbildes erzielt ist. Hierauf werden die Schrauben wieder angezogen.

e. Ob die Kreistheilung centrisch zur Umdrehungsaxe ist.

Man stellt den Nullpunkt des einen Nonius auf einen Theilstrich ein und liest den anderen Nonius ab, welcher mit demjenigen Theilstrich, welcher um 180° von dem zuerst beobachteten absteht, entweder koincidirt oder um einen kleinen Werth differirt. Dreht man dann die Alhidade um 180° und stellt nun den zweiten Nonius auf den ersten Theilstrich, so können verschiedene Fälle eintreten. Es wird entweder der erste Nonius mit dem zweiten Theilstrich koincidiren, in welchem Fall die Theilung in der Richtung der beiden Ablesungen centrisch ist und zu gleicher Zeit die Nullpunkte der Nonien ohne Indexfehler sind. Oder der Nonius wird dieselbe Ablesung geben wie in der ersten Lage, woraus zu schliessen ist, dass die Nullpunkte der Nonien ohne Indexfehler, die Theilung aber excentrisch ist. Oder drittens, der Nonius wird um einen gleichen, der Richtung nach aber entgegengesetzten Werth gegen die erste Lage differiren, woraus folgt, dass die Theilung centrisch, die Nonien aber einen Indexfehler haben. Oder schliesslich viertens, der Nonius

wird eine ganz verschiedene Ablesung von der ersten ergeben, in welchem Fall die Theilung excentrisch ist und die Nonien Indexfehler haben, oder die Theilung in sich fehlerhaft ausgeführt ist. Letztere Fehler erkennt man, indem man einen Winkel mit verschiedenen Stellen der Kreistheilung misst, welche Beobachtung sich bequem ausführen lässt, indem man den Kompass auf dem Stativ benutzt, wo dann die beiden centrischen Axensysteme, nämlich das des Peilapparates und das des Gehängebogens auf dem Stativ, die Repetition der Winkel gestatten.

Die Excentricität der Theilung wird wirkungslos auf das Messungsresultat gemacht, indem man die Beobachtung an beiden Nonien ausführt und aus den erhaltenen Werthen das arithmetische Mittel nimmt.

f. Ob der Peilapparat einen Prismenfehler hat, das heisst: ob die Reflexionsebene des Prismas mit der Visirebene der Diopter zusammenfällt.

Man nimmt am besten eine Kompassrose zu Hülfe, welche bereits auf ihre Centricität geprüft, oder deren Excentricität bestimmbar ist (Normalrose). Nachdem der Kompass unter Zuhülfenahme der Horizontirvorrichtung und der Dosenlibelle gehörig horizontirt, die Rose eingesetzt und der Peilapparat aufgesetzt ist, stellt man bei guter Beleuchtung den Nordpunkt der Rose auf einen Steuerstrich ein, indem man über das Centrum des Diopteraufsatzes auf den Steuerstrich visirt und den ganzen Kompass so dreht, dass der Nordnullstrich einsteht. Hierauf dreht man die Diopter so, dass das Spiegelbild des Objektivfadens, welches vom Glasdeckel reflektirt wird, durch die Okularspalte oder knapp über derselben hinweg genau mit dem Steuerstrich und dem Nordnullpunkt zusammenfällt. Liest man dann durch das Prisma die Rosentheilung ab, und es koincidirt der Südnullstrich (unter Berücksichtigung seiner etwaigen Excentricität) mit dem Diopterfaden, so fällt die Reflexionsebene des Prismas mit der Visirebene der Diopter zusammen.

Hierbei ist angenommen, dass die Glasscheibe des Peilapparates frei von jeder prismatischen Abweichung ist, dass ihre Flächen also planparallel sind, was in Wirklichkeit wohl bei keinem Kompass der Fall ist, da die Herstellung so grosser Planparallelgläser sehr schwierig und infolge dessen so kostspielig ist, dass von ihrer Verwendung bei Kompassen abgesehen werden muss. Der Mechaniker verwendet daher immer nur gut ausgesuchtes Spiegelglas, welches wohl leidlich gut plan, aber weniger vollkommen parallel ist, so dass häufig noch prismatische Fehler von 3 bis 4 Minuten vorkommen. Abweichungen vom Parallelismus der Glasflächen lassen sich mit hinreichender Schärfe erkennen am reflektirten Bild des Diopterfadens.

Blickt man nämlich in der Richtung der Visirlinie auf das Glas und dreht die Diopteralhidade um ihre Axe, so wird man eine Stelle finden,

bei welcher man nur ein Bild des reflektirten Fadens erblickt, es fallen also die reflektirten Bilder von der obern und untern Glasfläche zusammen; das Glas hat an dieser Stelle rechtwinklig zur Visirebene keine Abweichung oder ist in dieser Richtung parallel. Dreht man die Diopteralhidade um 180°, so wird man dieselbe Wahrnehmung machen. Werden nun aber die Diopter aus diesen Lagen herausgedreht, so spaltet sich allmählich das Reflexionsbild des Fadens in zwei Bilder, von denen das eine von der oberen, das andere von der unteren Glasfläche herrührt. Die Entfernung beider Bilder erreicht ihr Maximum, wenn die Diopter um 90° gegen die Richtung ohne Seitenablenkung stehen; es findet hier die grösste Seitenabweichung statt. Bei fortgesetzter Drehung nähern sich die Bilder wieder einander, bis sie schliesslich zur Deckung kommen. Dieselbe Erscheinung wird man auf der zweiten Hälfte des Glasdeckels wahrnehmen. Der Glasdeckel soll so im Limbus des Diopterapparats befestigt sein, dass die Linie ohne prismatische Abweichung eine bestimmte Lage gegen den Nullpunkt der Kreistheilung hat.

Nun passt der Peilapparat so auf den Kompass, dass, wenn die Nonien mit den Theilstrichen 0 und 180 koincidiren und die Verbindungslinie der Schraubenzapfen des Gehängebogens sich in der Richtung Ost-West befindet, die Visirlinie mit der magnetischen Axe der Rose und einem Steuerstrichpaar zusammenfällt. Es wird nun die Glasplatte so eingesetzt, dass die Richtung ohne Abweichung in dieser Lage mit der Visirebene zusammenfällt. Diese Richtung ohne prismatische Abweichung fällt dann bei Aufstellung des Kompasses an Bord mit der Mittschiffslinie zusammen, da die Axe des äusseren Zapfenpaares der Aufhängung immer in der Querschiffsrichtung liegt.

II. Untersuchung der Rosen, Pinnen u. s. w.

a. Prüfung der Rose auf ihre magnetische Kraft, richtige Form und Feinheit des Hütchens und der Pinnen.

Eine Anleitung zur genauen Bestimmung des magnetischen Momentes ist Seite 205 gegeben. Als Norm für Beurtheilung einer guten Normalrose kann das folgende Beispiel dienen.

Die Angaben sind an einer Rose gewonnen, welche bereits ein Jahr im Gebrauch war; ein erheblicher Kraftverlust derselben wird bei entsprechender Behandlung nicht mehr stattfinden.

Beispiel.

Rose B. zum Normalkompass No. 204 von C. Bamberg.

Totalgewicht der Rose 81 g. Dauer einer einfachen Schwingung 8 Sekunden. Anzahl der einfachen Schwingungen von 4 Strich (45°)

Anfangsausschlag bis zur Ruhelage, jedoch Schwingungsbögen unter 5 Minuten nicht gezählt: 44.

Vertheilung der einzelnen Schwingungen:

von 4 Strich	bis 3 Strich	=	5	Schwingungen,
„ 3 „	„ 2 „	=	7	„
„ 2 „	„ 1 „	=	9	„
„ 1 „	„ 0 „	=	23	„
von 4 Strich	bis 0 Strich	=	44	Schwingungen.

Eine Zunahme der Schwingungsdauer gegen eine frühere Beobachtung unter denselben äusseren Verhältnissen lässt auf Abnahme der magnetischen Kraft der Rose schliessen; eine Abnahme der Anzahl der Schwingungen, vor allen derjenigen bei sehr kleinen Schwingungsbögen, auf eine Abnutzung oder schlechte Form der Pinne oder des Hütchens. Man wird im letzteren Falle immer zuerst die Pinne untersuchen, da dieselbe am leichtesten einer Beschädigung resp. Abnutzung ausgesetzt ist. Zeigt sich die Pinne jedoch tadellos, so wird der Fehler an der Politur des Hütchens liegen. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, indem man eine spitze Nadel oder Pinne in der kleinen Höhlung des Hütchens hin- und herbewegt und nun fühlt, ob diese Bewegung eine sanfte ist oder ob die Nadel kratzt, in welchem letzteren Falle die Politur eine unvollkommene oder das Hütchen beschädigt ist. Selbstverständlich hat eine Abnutzung der Pinne oder des Hütchens auch ein ungenaues Einstellen der Rose in ihre Ruhelage zur Folge, doch kann hierzu auch bei tadelloser Beschaffenheit der Pinne und der Politur des Hütchens die schlechte Form des letzteren Anlass geben. Die Pinne versetzt sich in einem solchen Hütchen, und das Centrum der Rosentheilung verändert sich fortwährend. Es wird nach dem oben Gesagten nicht schwer fallen, bei etwaigem Vorkommen dieses Fehlers denselben richtig zu beurtheilen.

Noch ist zu untersuchen, ob die Rose horizontal hängt. Man wird zu dem Ende sich vergewissern, ob der Kompass horizontal hängt, mit Hülfe der Dosenlibelle oder nach einer Naturlinie, welche als horizontal anzunehmen ist. Hierauf kann man sich von der horizontalen Lage der Rose überzeugen, indem man vom oberen Kesselrand nach der Rosenebene mit Hülfe eines Massstabes niedermisst und diese Messung an verschiedenen Stellen wiederholt.

b. Ob die Pinne centrisch zur Umdrehungsaxe des Peilapparates ist.

Man stelle mit dem Okularprisma den Nordpunkt und dann den Südpunkt der Rose ein, hierauf drehe man den Kompass auf dem Stativ um 180° so, dass jetzt das Okularprisma wieder auf dem Nordpunkt einsteht, dreht hierauf die Diopteralhidade abermals um 180° und stellt den Südpunkt wieder ein.

Ergeben die Differenzen der Diopterdrehungen, bei den entgegengesetzten Lagen des Kompasses abgelesen, an den Nonien die gleichen Werthe von 180°, so ist in der Richtung der Nordlinie keine Excentricität der Pinne vorhanden. Wird dieselbe Untersuchung in der Ost-West-Linie und zwar mit demselben Erfolg ausgeführt, so ist die Pinne centrisch zur Drehaxe der Diopter.

Ergeben hingegen die Einstellungen auf 0° Nord und 0° Süd einen anderen Werth als 180°, z. B. $180° + a$ und in der zweiten Lage des Kompasses den Werth $180° - a$, so ist eine Excentricität der Pinne vorhanden. Dieser Fehler kann ausgeglichen werden durch Messen bei entgegengesetzten Lagen des Kompasskessels, da die Vorzeichen der Fehler entgegengesetzt sind.

c. Ob die Theilung der Rose centrisch zum Aufhängungspunkt des Hütchens ist.

Diese Untersuchung wird angestellt wie die vorhergehende, und es wird sich eine Excentricität der Theilung dadurch zeigen, dass die Ablesung an den Nonien bei den Einstellungen auf 0° Nord und 0° Süd, bei den entgegengesetzten Lagen des Kompasskessels um Werthe a und a_1 von 180° differiren, die sowohl ihrer Grösse, als ihrem Vorzeichen nach gleich sind. Es lässt sich leicht übersehen, dass bei einer Rose, welche nicht zum Umlegen eingerichtet ist, die Excentricitätsfehler sich nicht durch die Beobachtungsmethode herausschaffen lassen, dagegen hat die umlegbare Normalrose den Vorzug, dass an ihr sich, neben der Bestimmung der Kollimation der magnetischen Axe, auch die Untersuchung auf Excentricität an den vier Quadranten 0° Nord, 90° Ost, 0° Süd und 90° West leicht ausführen lässt. Es bietet sich so ein sicheres und bequemes Mittel, um Rosen derselben Grösse nach beiden Richtungen hin zu untersuchen, und zwar unabhängig von der Centricität der Pinne.

d. Ob die Steuerstriche richtig stehen.

Erweisen sich Rose und Pinne frei von Excentricität, so sollen schliesslich auch die Steuerstriche um genau 90° von einander abstehen und ihr gemeinschaftlicher Mittelpunkt mit dem Centrum der Rose zusammenfallen. Steht also 0° Nord auf einem Steuerstrich ein, so sollen auch die drei übrigen Quadrantenstriche mit den entsprechenden Steuerstrichen koincidiren. Wie Excentricitäten der Steuerstriche wirken, folgt aus den vorhergehenden Untersuchungen.

Excentricitäten der Pinne können leicht vorkommen, so dass ein Wechseln der best ausgeführten Pinnen fast immer eine Veränderung der Centricität zur Folge haben wird. Der Grund liegt darin, dass selbst kleine lineare Veränderungen der Pinne, welche sich beim Einschrauben gar nicht umgehen lassen, einen verhältnissmässig grossen Einfluss auf die Veränderung der Winkel üben.

Im Allgemeinen werden die Fehler der Rosentheilung und der verschiedenen Excentricitäten in ihrer Gesammtwirkung selbst bei neuen, gut korrigirten Instrumenten noch ca. 5 Minuten und mehr betragen.

§ 106. Behandlung der Kompassrosen und Pinnen.

Der Kompass muss vor heftigen Erschütterungen und Stössen, überhaupt vor einer unsanften Behandlung bewahrt werden. Vor Allem gilt dies für die Rosen, da dieselben infolge ihres zarten Baues leicht Verletzungen ausgesetzt sind, welche, dem Auge kaum sichtbar, von sehr erheblichem Einfluss auf die Centricität und Kollimation sein können.

Um die magnetische Kraft zu konserviren, ist es von Vortheil, die Rose in ihrem Kasten in der Richtung der Inklination, Nord nach unten, aufzustellen; es wirkt hier der Erdmagnetismus als natürliche Armatur, und die fortgesetzte Induktion vermag nicht allein einen kräftigen Magneten vor Abnahme des Magnetismus zu schützen, sondern auch einen geschwächten zu kräftigen.

Die Reservepinnen sind namentlich für die Aufbewahrung auf See an ihren Spitzen mit etwas ungesalzenem Rindertalg einzureiben, um sie vor Rost zu schützen. Talg ist dem Oel vorzuziehen, weil letzteres häufig schwache Säuren enthält.

II. Magnetische Instrumente.

§ 107. Die Horizontalnadel.

Die Horizontalnadel ist eine kleine rautenförmige Magnetnadel, deren Form so gewählt ist, dass sie ein möglichst geringes Trägheitsmoment hat (vergl. die auf Taf. XVIII dargestellte Nadel des Deviationsmagnetometers). In der Mitte ist ein Hütchen eingeschraubt, zu welchem eine passende Pinne beigegeben ist. Das auf der Nadel befindliche verschiebbare Gewichtchen dient zum Horizontalstellen. Die Horizontalnadel wird (ganz leicht eingefettet) in dem dazu bestimmten Kästchen aufbewahrt. Es ist wohl zu beachten, dass der Aufbewahrungsort niemals in unmittelbarer Nähe von irgend welchen Eisentheilen gewählt werden darf, ebenso nicht zu nahe den Reservekompassrosen oder Magnetstäben. Alle diese Gegenstände würden sehr bald den Magnetismus der Nadel ändern, während das grösste Gewicht darauf gelegt werden muss, denselben konstant zu erhalten.

Die Horizontalnadel dient dazu, relative Messungen der horizontalen Kraft H vorzunehmen unter Zugrundelegung des bekannten Pendelsatzes, dass sich zwei Kräfte umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Schwingungszahlen T, welche unter dem Einfluss dieser Kräfte beobachtet werden — also $\frac{H}{H'} = \frac{T'^2}{T^2}$.

Es kommt also nur darauf an, möglichst genaue Schwingungsbeobachtungen zu erhalten. Die Manipulation dabei ist folgende:

Die Pinne der Horizontalnadel passt auf die Pinnenträger der Kompasse und wird nach Entfernung der Kompasspinne eingeschraubt. Es ist wichtig, dass stets die zugehörige Pinne, und zwar diese nur für die Horizontalnadel, in Anwendung kommt.

Nachdem die Nadel auf die Pinne aufgesetzt ist, überzeugt man sich, dass dieselbe horizontal schwingt, und regulirt event. mit dem verschiebbaren Gewichtchen. Sodann wird der Glasdeckel wieder aufgesetzt. (Vor dem Gebrauch ist die Nadel stets sorgfältig trocken abzuwischen, damit die Schwingungen nicht durch anhaftende Fett- oder Staubtheilchen beeinflusst werden.)

Die Nadel muss nun zunächst zur Ruhe kommen und diese Lage durch einen Strich auf dem Glase oder durch den Faden des niedergeklappten Diopters markirt werden. Sodann wird die Nadel durch einen Magneten oder irgend ein eisernes Instrument, das man der Kompassbüchse nahe bringt, abgelenkt (und zwar um nicht mehr als etwa 30°) und so in Schwingung versetzt. Man notirt nun die Zeit im Augenblick, wo die schwingende Nadel die Meridianmarke passirt, und zählt von da ab die Schwingungen. Wenn eine Anzahl Schwingungen gezählt ist (am besten eine durch 10 theilbare Zahl), so wird die Zeit wiederum notirt. Solcher Beobachtungen mindestens drei, besser fünf, bilden eine Reihe, aus welcher die Dauer einer Schwingung erhalten wird.

Diese Beobachtungen finden Anwendung zur Bestimmung des Verhältnisses der Horizontalkraft H' an Bord zu der Horizontalkraft H an Land. Dieses Verhältniss $\frac{H}{H'}$ ist für die Errechnung der Deviationskoëfficienten von besonderem Werth.

Die Beobachtungen an Bord sind die wichtigsten; dieselben setzen in erster Linie eine genaue Deviationsbestimmung und kontrolirte Aufstellung des Kompasses voraus.

Zu jeder Beobachtungsreihe mit der schwingenden Nadel an Bord ist eine korrespondirende Beobachtung an Land, frei von jeder Eisenumgebung, nöthig. Vor Allem aber ist festzuhalten, dass die genaue Bestimmung des Kurses und seiner Deviation, auf welchem eine Schwingungsbeobachtung und daraus ein $\frac{H}{H'}$ erlangt wird, nicht weniger wichtig ist als die Beobachtung selbst. Es wird daher für eine Beobachtung folgende Reihenfolge inne zu halten sein:

1. Notiren des Kurses nach dem Regelkompass, Sonnenpeilung mit Angabe der Uhrzeit (wahre Ortszeit);
2. Entfernung der Rose und Einsetzen der Horizontalnadel. Anstellung der Schwingungsbeobachtung. Während dieser Zeit genaues Steuern auf dem vorher beobachteten Kurse. (Unter Dampf sind keine Beobachtungen zu erlangen.)

Beispiel. S. M. S. Kaiser, Steuerkompass auf der vorderen Brücke.

	Zeit			Schw.		
Lag an per Kompass N 22,5° O	9h	8m	53,5s	80 Schw.	10 Schw.	= 15,875 sec.
		11	0,5			
		11	45	60 „	„ „	= 16,000 „
		13	21			
		14	20,5	40 „	„ „	= 15,750 „
		15	23,5			
		16	9	50 „	„ „	= 16,200 „
		17	30			
		18	40,5	60 „	„ „	= 16,000 „
Lag an per Kompass N 24° O		20	16,5			
					Mittel 10 Schw.	= 15,97 sec.

Wo Zeit und Umstände es gestatten, kann eine vollständige Beobachtungsreihe von Schwingungsbeobachtungen auf den acht magnetischen Hauptkursen vorgenommen werden. Dieselbe wird sich naturgemäss mit einer ausführlichen Deviationsbestimmung durch Schwingen des Schiffes verbinden.

Neben den auf die Deviation bezüglichen Beobachtungen ist die Horizontalnadel dazu bestimmt, die angenäherte Horizontalintensität in relativer Weise zu bestimmen. Solche Beobachtungen sind nothwendig zu verbinden mit Schwingungsbeobachtungen, welche vor- und nachher angestellt sind an Orten, deren magnetische Elemente anderweitig schon absolut bestimmt sind. Für genauere Beobachtungen ist die Horizontalnadel im Deviationsmagnetometer vortheilhafter zu verwenden, da die Schwingungen derselben mit grösserer Schärfe beobachtet werden können.

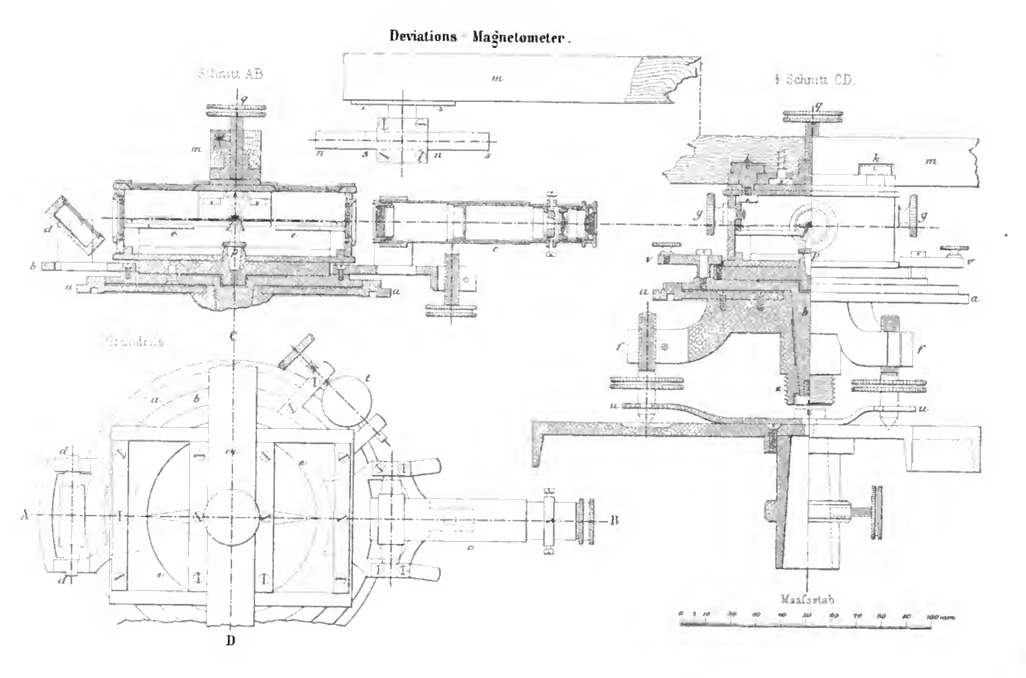
§ 108. Das Deviationsmagnetometer. (Tafel XVIII.)

Das Deviationsmagnetometer dient zur relativen Bestimmung der horizontalen und vertikalen Komponenten der Intensität des Erdmagnetismus, namentlich in Verbindung mit Deviationsbestimmungen an Bord eines Schiffes. Die Einrichtung desselben gestattet auch die Bestimmung der magnetischen Deklination (Missweisung) und der magnetischen Inklination mit für die meisten Zwecke genügender Genauigkeit.

Das Instrument besteht aus folgenden Haupttheilen (Taf. XVIII):

1. Der Untertheil mit einem getheilten Horizontalkreise *a* und einem Alhidadenkreise *b*, welcher letztere ein Fernrohr *c* und einen Spiegelhalter *d* trägt. Drei Füsse mit Schrauben *ff* gestatten, das Instrument nach einer aufgesetzten Dosenlibelle zu nivelliren. Ein Mikrometerwerk *t* dient zur Einstellung des Alhidadenkreises.

2. Das Deklinationskästchen mit einem Deckel, der durch zwei Schrauben *gg* an den beiden Seiten festgeschraubt werden kann. Das Deklinationskästchen wird mit den Vorreibern *vv* auf dem Alhidadenkreis festgeklemmt. Eine konische Oeffnung mit Schraubenmutter, welche die


Deviations - Magnetometer.
Schnitt AB
½ Schnitt CD.
Grundriss
Maafsstab
0 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 mm

Pinne *p* aufzunehmen bestimmt ist, befindet sich genau im Mittelpunkt der im Kästchen angebrachten Elfenbeintheilung *e e*. Die Nullpunkte der letzteren sind mit kleinen Spitzen versehen, welche genau vertikal in der Mittellinie aufgestellt sind.

3. Das Inklinationsgehäuse (Fig. 101) besteht aus einem aufrecht stehenden dosenförmigen Kästchen, welches auf der Vorderseite mittelst eines Glasdeckels verschlossen wird. Im Innern ist ein Theilkreis, in dessen Mitte die Achatlager für die Inklinationsnadel angebracht sind. Diese Lager befinden sich in zwei Messingträgern *d*, welche mit Korrektionsschrauben versehen sind. Eine Arretirvorrichtung, die sich längs der Träger mittelst einer unten befindlichen Schraube *s* auf und nieder bewegen lässt, hebt die Nadel von den Lagern ab, oder lässt sie auf dieselben herunter. Dieses Gehäuse wird so in den Alhidadenkreis eingesetzt, dass die offene Seite vom Fernrohr abgewendet ist. An der Rückseite des Gehäuses befinden sich zwei Knöpfe, über welche die Ablenkungsschiene geschoben und in beiden Lagen durch die Schienenschraube festgeklemmt werden kann.

Das Deklinationskästchen wie das Inklinationsgehäuse werden auf dem Alhidadenkreise durch die zu beiden Seiten angebrachten Vorreiber *v v* festgeklemmt. Sind dieselben fest angezogen, so steht der Theilkreis im Deklinationskästchen horizontal bezw. derjenige im Inklinationsgehäuse vertikal.

4. Die Ablenkungsschiene *m* besteht aus einem hölzernen Stab, an dessen beiden Enden je ein System für Temperatur kompensirter Magnete befestigt ist. Zwei Knöpfe *k k* auf dem Deklinationskästchen haben den Zweck, beim Aufsetzen dieser Schiene als Führung zu dienen, welche letztere durch eine gereifelte Schraube *q* auf dem Kästchen festgesetzt wird.

Das Princip der Kompensation der Ablenkungsmagnete für Temperatur besteht darin, dass man zu jedem Systeme zwei Magnete *N S*, *s n* verwendet, die mit Rücksicht auf den Grad der Härte sehr verschieden sind, wodurch ihre Temperaturkoëfficienten beeinflusst werden. Auf diese Weise kann das magnetische Moment der zusammengesetzten Magnete so gewählt werden, dass es von der Temperatur nicht beeinflusst wird. Wenn a und a' die Temperaturkoëfficienten der Magnete sind, M und M' ihre magnetischen Momente, so hat man nur darauf zu achten, dass $a\,M - a'\,M' = 0$ ist. Wenn das Moment des zusammengesetzten Magneten $\mathfrak{M} = M - M' - (a\,M - a'\,M')\,t$ (wo t die Temperatur), so ist, wenn obige Bedingung erfüllt ist, $\mathfrak{M}$ unabhängig von der Temperatur. Diese Magnete müssen stets mit reinem Fett überzogen erhalten werden (nicht etwa salziges Fett), damit sie vor Rost bewahrt bleiben.

5. Die Nadeln. Je zwei Deklinations- und zwei Inklinationsnadeln sind in einem Etui verpackt, auf dessen Deckel die Lage der zu verpackenden Nadel angegeben ist.

Es ist Vorsicht zu gebrauchen, dass die Magnetnadeln beim Gebrauch sich nicht berühren, weil sonst ihre magnetischen Momente sich verändern und Beobachtungen verschiedener Stationen vor und nach der Berührung nicht mehr vergleichbar sind. Die Inklinationsnadel darf nur auf die Messingunterlagen eingelegt werden; niemals direkt auf die Achatlager, auf welche sie erst mittelst der Schraube (unten) herabgelassen wird. Die Inklinations- und Deklinationsnadeln müssen bei der Verpackung fettig erhalten werden, weil durch den Rost ihre Momente sich ändern. Bei der Beobachtung jedoch muss dieses Fett durch Abwischen entfernt werden, da sonst für die Schwingungen das Trägheitsmoment sich ändern kann. Das Deviationsmagnetometer wird auf einen Dreifuss aufgesetzt, welcher an Bord auf den Kessel des Kompasshauses aufgelegt (oder nach neuerer Konstruktion eingehängt) werden kann. Derselbe Dreifuss kann für die Aufstellung an Land auf den Kopf eines Bootskompass-stativs aufgeschraubt werden. In Figur 101 ist diese Befestigung so dargestellt, wie sie bei den älteren Instrumenten ausgeführt ist. Das Instrument wird mittelst eines doppelten Federstengelhakens auf dem Dreifuss gehalten. Tafel XVIII zeigt die neuere Befestigungsweise, bei welcher die Federstengel fortfallen und die Fussschrauben von Klemmfedern *u u* festgehalten werden. Das Schraubengewinde bei *z* dient nur zur Befestigung des Instruments in seinem Aufbewahrungskasten.

Fig. 101.



§ 109.

Abweichende Konstruktion des Deviationsmagnetometers.

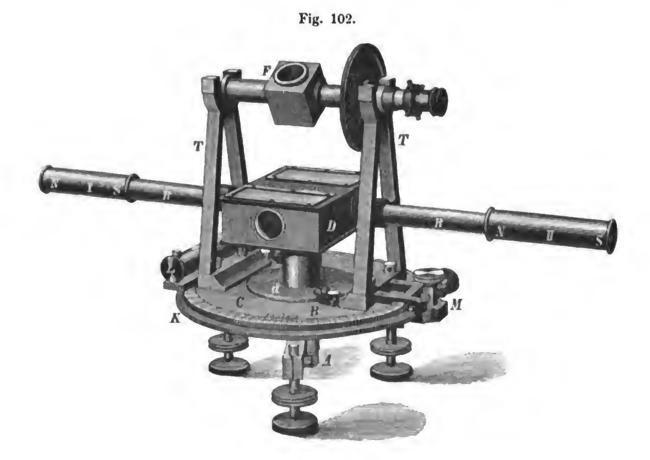
Eine neuere Form dieses Instruments weicht äusserlich von dem beschriebenen ab und ist in Fig. 102 dargestellt. Wenn man an einem Kompassort die Horizontal- und Vertikalkraft bestimmen will, so ist es namentlich bei kompensirten Kompassen wegen der nahen Magnetstäbe wichtig, dass die Beobachtungen genau in der Höhe der Rose angestellt werden. Um dies zu erleichtern, ist die Konstruktion in folgender Weise abgeändert: Die Deklinations- und die Inklinationsnadel haben

gleiche Formen und gleiche Dimensionen, und zwar eine Länge von 75 mm und eine grösste Breite von 7 mm. Die beiden Magnetgehäuse sind so konstruirt, dass die Horizontalaxe der Inklinationsnadel mit der Schwingungsebene der Deklinationsnadel zusammenfällt.

In der Schwingungsebene sind in die Fernrohrträger zwei Röhren *R* eingeschraubt, in welche die Ablenkungsmagnete I und II, welche in Metallhülsen eingeschlossen sind, mit cylindrischen Zapfen eingesteckt werden können.

Die Fernrohrträger *T T* sind so hoch, dass sie die Schwingungsgehäuse überragen. Sie tragen ein gebrochenes Fernrohr (in den Würfel bei *F* ist ein rechtwinkliges Prisma eingeschlossen), dessen Visirlinie mit

Fig. 102.



der Nulllinie des Deklinationsgehäuses in einer Vertikalebene liegt und Beobachtungen in jeder Zenithdistanz zulässt. Zum bequemen Einstellen der Höhe befindet sich auf der Axe ein getheilter Kreis. Vor das Okular kann ein Blendglas geschraubt werden, vor dem Prisma in dem Würfel *F* aber kann eine Konvexlinse so eingesetzt werden, dass die Sichtweite auf die Spitze der Nadel eingestellt ist, so dass man auf diese Weise Koincidenzbeobachtungen machen kann.

§ 110. Beobachtungen mit dem Deviationsmagnetometer.

1. Beobachtungen mit der Horizontalnadel.

Vor Anstellung von Beobachtungen mit der Horizontalnadel muss die centrische Stellung der eingeschraubten Pinne sowie die korrekte Stellung der beiden Nullspitzen geprüft werden. Die Horizontalnadel muss mindestens 100 deutlich erkennbare Schwingungen machen, wenn sie um 30° vom Nullpunkt abgelenkt wird.

Wenn die Horizontalnadel auf die Pinne aufgelegt und zur Ruhe gekommen ist, so wird der Alhidadenkreis so gedreht, dass die Nadel zwischen den beiden Indexspitzen der Elfenbeintheilung einspielt, was man mittelst der Lupe scharf beobachten kann. War vorher der Horizontalkreis des Instruments mit dem Nullpunkt nach vorn in die Längsschiffslinie eines Kompassorts genau orientirt, so ergiebt die Ablesung am Nonius jetzt direkt den Kompasskurs der Beobachtung.

Die *Schwingungsbeobachtungen* sind bereits in § 107 ausführlich erörtert. Sie werden im Deviationsmagnetometer in derselben Weise angestellt, wie dort beschrieben ist.

Die *Ablenkungsbeobachtungen* werden mit Hülfe der Ablenkungsschiene in folgender Weise angestellt. Zunächst wird die Nadel scharf eingestellt, *die Alhidade festgeklemmt* und diese Einstellung am Nonius abgelesen. Dann wird die Schiene über die dazu vorhandenen Knöpfe des Deckels fest aufgestreift. Sie ist dann rechtwinklig zur Ruhelage der nicht abgelenkten Nadel gerichtet. Nun wird der Alhidadenkreis gelöst und so eingestellt, dass die Nadel wieder zwischen die Indexspitzen der Elfenbeintheilung einspielt. Die Ablesung des Nonius in dieser Stellung giebt *Ablenkung I*. Die Schiene wird dann abgenommen, umgekehrt aufgestreift und nun der Alhidadenkreis auf die sich jetzt ergebende Nullstellung der Nadel eingestellt. Sobald die Nadel einspielt, wird *Ablenkung II* abgelesen. Wird dann die Schiene ganz entfernt, so giebt die Nadel in ihrer Ruhestellung wieder die ursprüngliche Ablesung an.

Die halbe Summe der beiden Ablenkungsgrössen stimmt mit der Ablesung für die Ruhelage der freien Nadel überein, die halbe Differenz ist der Ablenkungswinkel als das Mittel aus zwei Beobachtungen, z. B.:

Beobachtung am Ort des Regelkompasses, in welchen das Deviationsmagnetometer mit dem Nullpunkt nach vorn genau zum Steuerstrich orientirt eingesetzt war:

Ablesung der freien Nadel . . .	$-\ 8°\ 25'$	8° 16'.
(Schiene aufgelegt) Ablenkung I	$+35°\ 50'$	
(Schiene umgedreht) Ablenkung II	$-52°\ 20'$	
Ablesung der freien Nadel . . .	$-\ 8°\ 10'$	

Daraus Ablenkungswinkel $\frac{I-II}{2} = 44°\ 5'$

Kompasskurs $\frac{I+II}{2} = -8°\ 15'$

und das Mittel aller Ablesungen für den Kompasskurs (wofür 8° 15′ als Resultat zweier Ablesungen doppeltes Gewicht erhält) 8° 16′.

Aus der Art der Beobachtung ergiebt sich, dass man es hier mit einer Sinusablenkung zu thun hat, das heisst: Bei konstanter ablenkender Kraft ist der Sinus dieses Ablenkungswinkels umgekehrt proportional der Horizontalintensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsort. Bezeichnet φ den Ablenkungswinkel, so ergiebt sich analog der für die Schwingungen festgestellten Beziehung hier:

$$\frac{H'}{H} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'}.$$

Wie an sich selbstverständlich, werden also Beobachtungen von Schwingungen und Ablenkungen niemals zu absoluten Bestimmungen kombinirt wie bei gewissen, ganz anders angeordneten erdmagnetischen Messungen, sondern sie dienen hier nur zur gegenseitigen Kontrole relativer Bestimmungen derselben Elemente.

2. Beobachtungen mit der Vertikalnadel.

Vor der Beobachtung überzeugt man sich, dass die Nadel, wenn sie auf die Achatlager hinabgelassen ist, bei einer Schwingung mit den Enden gleichweit vom Vertikalkreise entfernt bleibt. Ist dies nicht der Fall, so ist der Grund in der nicht wagerechten Stellung der Lager zu suchen, ein Fehler, der mittelst kleiner Korrektionsschrauben beseitigt werden kann. Diese Korrektion bleibt übrigens, wenn einmal durch den Mechaniker sachgemäss ausgeführt, sehr lange konstant. Die Vertikalnadel muss, wenn um etwa 30° aus der Ruhelage abgelenkt, 60 deutlich erkennbare Vertikalschwingungen machen.

Um Schwingungs- und Ablenkungsbeobachtungen anzustellen, wird das Gehäuse senkrecht zum Meridian aufgestellt, was unmittelbar erreicht ist, wenn für die Deklinationsnadel in der Nullstellung der Alhidadenkreis vorher festgeklemmt war und dann das Deklinationskästchen gegen das Inklinationskästchen ausgetauscht wird. Die Nadel steht dann in ihrer Ruhelage vertikal und spielt auf die Nullpunkte der Theilung des Vertikalkreises ein. Die Beobachtungen können in zwei Lagen, Vertikalkreis nach Nord oder nach Süd gerichtet, angestellt werden, und für jede Kreislage kann die Nadel wieder in zwei Lagen eingehängt werden, welche man unterscheidet als „Nummer nach aussen", „Nummer nach innen".

Die Schwingungsbeobachtungen werden in derselben Weise angestellt, wie diejenigen an der Horizontalnadel. Die Vertikalkräfte Z und Z', unter deren Einfluss Schwingungen an zwei verschiedenen Orten beobachtet werden, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszahlen. Das Verhältniss $\frac{T^2}{T'^2}$ ergiebt also unmittelbar das Verhältniss $\frac{Z'}{Z}$.

Das Beispiel für Schwingungsbeobachtungen (Ermittelung von T für eine Station) im § 107 findet hier analoge Anwendung.

Die Ablenkungsbeobachtungen mit Hülfe der Ablenkungsschiene sind auch hier anwendbar, wenngleich seltener benutzt. Da die Ablenkungsschiene hier nur rechtwinklig zur Vertikalstellung der Nadel, nicht zur Ablenkungslage, angebracht werden kann, so hat man es hier mit einer (im Allgemeinen für die Beobachtung weniger günstigen) Tangentenablenkung zu thun. Man findet aus den Ablenkungswinkeln φ und φ' das Verhältniss $\frac{Z'}{Z}$ vermittelst der Relation $\frac{Z'}{Z} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi'}$.

Die Handhabung der Schiene ist hier ebenso, wie sie bei der Horizontalnadel auseinandergesetzt wurde.

§ 111. Bestimmung der erdmagnetischen Elemente.

Vermittelst des Deviationsmagnetometers kann die Deklination und Inklination in absoluter Weise bestimmt werden und die Horizontal- und Vertikalintensität relativ unter Zugrundelegung einer Basisstation, für welche die Konstante des Instruments bestimmt ist.

Wenn T die Dauer einer Horizontalschwingung, K das Trägheitsmoment und M das magnetische Moment der Nadel ist, so erhält man die Horizontalintensität H aus der Gleichung $H = \frac{\pi^2 K}{T^2 M}$. Sieht man $\frac{\pi^2 K}{M}$ als eine konstante Grösse C_0 an, so ist $H = \frac{C_0}{T^2}$. C_0 muss für einen Ort, für welchen H bekannt ist, bestimmt werden und kann dann in die Gleichung für andere Stationen zur Bestimmung von H substituirt werden.

Ebenso ist für Ablenkungen, wenn n das Moment der beiden Systeme der Ablenkungsmagnete, r der Abstand der Mitte der Magnete vom Mittelpunkt der Nadel bezeichnet,

$$H = \frac{2\,n}{r^3\,M \sin \varphi} \quad \text{oder} \quad H = \frac{C}{\sin \varphi}.$$

So oft man eine Station erhalten kann, für die man H kennt, ist C für beide Beobachtungsarten zu bestimmen.

Bemerkt man Aenderungen in den Konstanten, so deutet das auf Abnahme des Magnetismus der Magnete des Instruments. Die Beobachtungen werden dadurch nicht unbrauchbar, vielmehr lässt sich aus einer Reihe das Gesetz der Abnahme und daraus die Reduktion aller Beobachtungen auf eine gemeinsame Epoche herleiten.

Um metrische Einheiten aus Einheiten nach englischem Mass zu erhalten, addirt man zum Logarithmus der englischen Angaben die logarithmische Konstante: 9,663776 — 10 (= log 0,46108).

§ 112. Bestimmung von λ aus Beobachtungen mit der Horizontalnadel.

Aus den Untersuchungen über die Ursachen der Deviation*) der Kompasse ist bekannt, dass die Wirkung des Eisens sich auf zweierlei Weise äussert, durch eine Ablenkung der Nadel aus dem magnetischen Meridian und durch eine Aenderung der Richtkraft. Die Ablenkung der Nadel, die Deviation, wird in bekannter Weise durch Richtungsbeobachtungen bestimmt, die Aenderung der Richtkraft durch Schwingungs- oder Ablenkungsbeobachtungen an der Horizontalnadel.

Unter Richtkraft versteht man hier die Kraft, welche im magnetischen Meridian wirkt, also die Horizontalkraft des Erdmagnetismus, vermehrt oder vermindert durch die gleichgerichteten Komponenten der auf den Kompass ausserdem wirkenden magnetischen Kräfte.

Wenn man die Horizontalkraft des Erdmagnetismus gleich 1 setzt, so kann man nach einer Grundformel der Deviationstheorie diese Richtkraft auf dem magnetischen Kurse ζ darstellen durch den Ausdruck:

$$1 + \mathfrak{a} + \mathfrak{b} \cos \zeta - \mathfrak{c} \sin \zeta + \mathfrak{d} \cos 2 \zeta - \mathfrak{e} \sin 2 \zeta.$$

Der durch Beobachtungen mit der Horizontalnadel ermittelte Werth $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{H'}{H}$ ist nicht direkt ein Mass für diese Richtkraft. $\frac{H'}{H}$ ist die Kraft, welche in der Richtung der abgelenkten Nadel (in der Richtung des „Kompassmeridians" zum Unterschiede vom magnetischen Meridian) wirkt, welche man als einstellende Kraft bezeichnen kann, da sie die Resultante aller auf den Kompass wirkenden Kräfte ist. Die Richtkraft ergiebt sich nach dieser Erklärung für einen Kurs, auf welchem die Einstellungskraft $\frac{H'}{H}$ und die Deviation δ beobachtet ist, zu $\frac{H'}{H} \cos \delta$. Das Mittel aus den Richtkräften auf allen Kursen ist die mittlere Richtkraft, für welche in der Theorie der Deviation die Bezeichnung λ eingeführt ist.

Für den Kurs ζ ist

$$\frac{H'}{H} \cos \delta = 1 + \mathfrak{a} + \mathfrak{b} \cos \zeta - \mathfrak{c} \sin \zeta + \mathfrak{d} \cos 2 \zeta - \mathfrak{e} \sin 2 \zeta.$$

Für zwei um 180° verschiedene Kurse ist:

$$\mathfrak{b} \cos \zeta_1 + \mathfrak{b} \cos \zeta_2 = 0$$
$$\mathfrak{c} \sin \zeta_1 + \mathfrak{c} \sin \zeta_2 = 0.$$

Für zwei um 90° verschiedene Kurse ist ebenso:

$$\mathfrak{d} \cos 2 \zeta_1 + \mathfrak{d} \cos 2 \zeta_3 = 0$$
$$\mathfrak{e} \sin 2 \zeta_1 + \mathfrak{e} \sin 2 \zeta_3 = 0.$$

Für vier um 90° auseinanderliegende Kurse ist daher:

$$\tfrac{1}{4} \Sigma \frac{H'}{H} \cos \delta = 1 + \mathfrak{a}.$$

Die mittlere Richtkraft aus diesen vier Kursen und ebenso aus jedem Vielfachen von vier Kursen ist $1 + \mathfrak{a} = \lambda$.

*) Die Ermittelung der Deviation, sowie die Zerlegung derselben in die Koëfficienten A, B, C, D, E wird hier als bekannt vorausgesetzt.

Statt der Konstanten $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{c}$, $\mathfrak{d}$, $\mathfrak{e}$ ist die Form üblich:

$$\frac{\mathfrak{B}}{\lambda}, \frac{\mathfrak{C}}{\lambda}, \frac{\mathfrak{D}}{\lambda}, \frac{\mathfrak{E}}{\lambda}.$$

Die obige Gleichung erhält dann die Gestalt:

$$\frac{H'}{H} \cos \delta = \lambda (1 + \mathfrak{B} \cos \zeta - \mathfrak{C} \sin \zeta + \mathfrak{D} \cos 2 \zeta - \mathfrak{E} \sin 2 \zeta).$$

Man erhält also λ:

1. Direkt als Mittel von $\frac{H'}{H} \cos \delta$ auf vier oder mehr äquidistanten magnetischen Kursen.

2. Aus $\frac{H'}{H}$ auf einem Kurse, wenn die Deviation des Kompasses und daraus die Koëfficienten $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$ bekannt sind.*) Von diesen kann $\mathfrak{E}$ wegen seines geringen Werthes für Kompasse in der Mittschiffslinie vernachlässigt werden.

Der Werth von λ charakterisirt vollkommener noch als die Deviation den Kompassort und ist für die Kompensation von besonderem Interesse. Ein Magnet, welcher auf einem Kompass in eisenfreier Umgebung eine Deviation von 8° hervorbringt, verursacht in derselben Lage bei einem Kompass, dessen $\lambda = 0{,}8$ ist, eine Deviation von 10°; denn die mittlere Richtkraft ist geschwächt im Verhältniss 1 : 0,8, also nimmt der Einfluss der störenden Kraft zu im umgekehrten Verhältniss 8 : 10.

Ferner ist λ nützlich bei Ermittelung der Deviationskoëfficienten, wenn nicht genug Deviationsbeobachtungen auf verschiedenen Kursen vorhanden sind. Man findet $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$, wenn λ und $\mathfrak{D}$ bekannt sind (welche mit genügender Genauigkeit aus früheren Beobachtungen beibehalten werden können und bei geographischer Ortsveränderung konstant bleiben), nach den Formeln:

$$\mathfrak{B} = + \frac{1}{\lambda} \frac{H'}{H} \cos \zeta' - (1 + \mathfrak{D}) \cos \zeta$$

$$\mathfrak{C} = - \frac{1}{\lambda} \frac{H'}{H} \sin \zeta' + (1 - \mathfrak{D}) \sin \zeta,$$

*) Man erhält $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$ aus den bekannten Deviationskoëfficienten A, B, C, D, E nach den Formeln des Admiralty Manual (siehe die Herleitung bei Schaub, „Ueber die Deviationen des Kompasses"):

$$\mathfrak{B} = B \left\{1 + \frac{D}{2} - \frac{B^2}{8} - \frac{C^2}{8}\right\} + \frac{CE}{2}$$

$$= \sin B \left\{1 + \tfrac{1}{2} \sin D + \tfrac{1}{12} \sin \text{vers}\, B - \tfrac{1}{4} \sin \text{vers}\, C + \tfrac{1}{2} \sin C \sin E\right\}$$

$$\mathfrak{C} = C \left\{1 - \frac{D}{2} - \frac{B^2}{8} - \frac{C^2}{8} + \frac{BE}{2}\right\}$$

$$= \sin C \left\{1 - \tfrac{1}{2} \sin D + \tfrac{1}{12} \sin \text{vers}\, C - \tfrac{1}{2} \sin \text{vers}\, B\right\} + \tfrac{1}{2} \sin B \sin E$$

$$\mathfrak{D} = D = \sin D (1 + \tfrac{1}{2} \sin \text{vers}\, D)$$

$$\mathfrak{E} = E - A D = \sin E - \sin A \sin D.$$

(Um die Produkte der Werthe A, B, C, D, E bilden zu können, muss man sie im Theile des dem Halbmesser gleichen Bogens 57,3° ausdrücken. Bei kleinen Beträgen kann man dafür auch den Sinus einsetzen.)

worin ζ der magnetische, ζ' der Kompasskurs ist, also aus Beobachtungen auf einem Kurse, z. B. im Dock. Aus Beobachtungen auf zwei diametral gegenüberstehenden Kursen nahe einem Interkardinalstrich (z. B. auf einer Gezeitenrhede) sind die Formeln anwendbar:

$$\lambda \mathfrak{B} = \tfrac{1}{2}\left\{\frac{H'}{H}\cos\zeta'_1 + \frac{H_2}{H}\cos\zeta'_2\right\}$$

$$\lambda \mathfrak{C} = \tfrac{1}{2}\left\{\frac{H'}{H}\cos\zeta'_1 + \frac{H^2}{H}\cos\zeta'_2\right\}.$$

(Siehe die Beispiele § 114 und die Herleitung im Adm. Manual und bei Schaub, Deviationen etc.)

§ 113. Bestimmung von μ aus Beobachtungen mit der Vertikalnadel.

Die Vertikalkraft am Ort des Kompasses ist die Vertikalkraft des Erdmagnetismus, vermehrt oder vermindert durch die anderweitigen magnetischen Kräfte, welche in der Vertikalaxe des Kompasses wirken. Der Werth $\frac{Z'}{Z}$ aus Beobachtungen mit der Vertikalnadel giebt direkt nur die Vertikalkraft für den anliegenden Kurs an. Setzt man die vertikale Erdkraft = 1, so ist nach den Grundformeln der Deviationstheorie die Vertikalkraft für den Kurs ζ und die Inklination ϑ:

$$\frac{Z'}{Z} = 1 + f + \frac{g}{\operatorname{tg}\vartheta}\cos\zeta + \frac{h}{\operatorname{tg}\vartheta}\sin\zeta,$$

worin f, g, h magnetische Konstanten des Schiffseisens bezeichnen.

Die mittlere Vertikalkraft, d. h. das Mittel aus den Vertikalkräften auf allen Kursen, wird als Koëfficient μ bezeichnet. Man sieht sogleich, dass $\mu = 1 + f$ ist und dass das Mittel von $\frac{Z'}{Z}$ auf zwei diametral entgegengesetzten Kursen μ giebt. Da $\frac{h}{\operatorname{tg}\vartheta}\sin\zeta$ für Kompasse in der Mittschiffslinie vernachlässigt werden kann, so erhält man μ direkt aus einer Beobachtung, wenn man einen Kurs wählt, für welchen $\cos\zeta = 0$ wird, also auf Kurs Ost und West (magnetisch).

Man erhält also μ:

1. Durch Ermittelung von $\frac{Z'}{Z}$ auf Kurs magnetisch Ost oder West ($h = 0$ angenommen).

2. Als das Mittel von $\frac{Z'}{Z}$ auf zwei oder mehr äquidistanten magnetischen Kursen.

3. Wenn g bekannt und h zu vernachlässigen ist, aus $\frac{Z'}{Z}$ auf einem beliebigen Kurse.

Man erhält μ und g, wie leicht abzuleiten, aus der Beobachtung auf zwei Kursen aus den Formeln:

$$\mu = \frac{\frac{Z'_1}{Z}\cos\zeta_2 - \frac{Z'_2}{Z}\cos\zeta_1}{\cos\zeta_2 - \cos\zeta_1}$$

$$\frac{g}{\operatorname{tg}\vartheta} = \frac{\left(\frac{Z'_1}{Z} - \frac{Z'_2}{Z}\right)}{(\cos\zeta_1 - \cos\zeta_2)}.$$

Da g eine kleine Grösse ist, so müssen ζ_1 und ζ_2 für die letztere Bestimmung nahe an Nord oder Süd gewählt werden, um einen zuverlässigen Werth von g zu erhalten. Die Kenntniss von μ gestattet, die Veränderung der Deviation bei einer Neigung des Schiffes im Voraus zu berechnen.

Der Krängungskoëfficient χ (Krängungsfehler für 1° Neigung auf Kurs Nord*) ist nämlich, wenn μ, λ, der Deviationskoëfficient $\mathfrak{D}$ und die Inklination am Ort ϑ bekannt sind, bestimmt durch die Formel:

$$\chi = \left\{\frac{\mu}{\lambda} - 1 + \mathfrak{D}\right\} \operatorname{tg}\vartheta.$$

§ 114. Rechnungs-Beispiele.

Die folgenden Beispiele (Seite 249 bis 253) zeigen die Anwendung der mittelst des Deviationsmagnetometers angestellten Beobachtungen zur Bestimmung der Werthe λ und μ sowie des Krängungskoëfficienten χ.

§ 115. Das Vertikalkraft-Instrument

von Sir **William Thomson.**

Das Vertikalkraft-Instrument ist lediglich für den praktischen Gebrauch bei der Kompensation des Krängungsfehlers bestimmt. Obgleich auf dem Princip der Messung magnetischer Kräfte durch Ablenkung einer Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage beruhend, ist das Instrument nicht sowohl zur Messung von Ablenkungen, als vielmehr zur Beobachtung einer Gleichgewichtslage der Nadel eingerichtet. Die Gleichgewichtslage wird durch Beseitigung der störenden Kraft, d. h. Anbringen des Kompensationsmagneten in seine richtige Stellung, hergestellt.

Eine Inklinationsnadel wird durch einen kleinen Magneten, welcher in dem Instrument selbst auf- und niederbewegt werden kann, in horizontale Stellung gebracht.

Wenn diese Nadel nun an einen Ort gebracht wird, an welchem störende Kräfte in vertikaler Richtung wirken, so nimmt sie eine zur

[Fortsetzung Seite 254]

*) Vergl. die Tabelle im Handbuch der Navigation § 36.

Berechnung der Koëfficienten A, B, C, D, E des Regelkompasses S. M. S. Blücher aus der Deviationsbestimmung vom 11. Januar 1879 in Kiel.

Kompasskurs	Kol. I δ	Kompasskurs	Kol. II δ	Kol. III $\frac{\text{Kol. I} + \text{Kol. II}}{2}$	Kol. IV $\frac{\text{Kol. I} - \text{Kol. II}}{2}$	Kol. V Berechnung von B: Multiplikatoren	Kol. V: Kol. IV mit den Multiplikatoren	Kol. VI Berechnung von C: Multiplikatoren	Kol. VI: Kol. IV mit den Multiplikatoren	Kol. Ia Obere Hälfte von Kol. III	Kol. IIa Untere Hälfte von Kol. III	Kol. IIIa $\frac{\text{Kol. Ia} + \text{Kol. IIa}}{2}$ A	Kol. IVa $\frac{\text{Kol. Ia} - \text{Kol. IIa}}{2}$	Kol. Va Berechnung von D: Multiplikatoren	Kol. Va: Kol. IVa mit den Multiplikatoren	Kol. VIa Berechnung von E: Multiplikatoren	Kol. VIa: Kol. IVa mit den Multiplikatoren
Nord	+ 14,3°	Süd	— 13,1°	+ 0,60	+ 13,70	1	0,00	1	+ 13,70	+ 0,60	+ 0,05	+ 0,32	+ 0,27	0	0,00	1	+ 0,27
NzO	+ 18,3	SzW	— 16,8	+ 0,75	+ 17,55	S_1	+ 3,42	S_7	+ 17,21	+ 0,75	— 1,35	— 0,30	+ 1,05	S_2	+ 0,40	S_6	+ 0,97
NNO	+ 24,8	SSW	— 18,5	+ 3,15	+ 21,65	S_2	+ 8,29	S_6	+ 20,00	+ 3,15	— 2,20	+ 0,48	+ 2,67	S_4	+ 1,89	S_4	+ 1,89
NOzN	+ 26,8	SWzS	— 20,3	+ 3,25	+ 23,55	S_3	+ 13,09	S_5	+ 19,58	+ 3,25	— 3,70	— 0,22	+ 3,48	S_6	+ 3,21	S_2	+ 1,33
NO	+ 29,3	SW	— 21,3	+ 4,00	+ 25,30	S_4	+ 17,89	S_4	+ 17,89	+ 4,00	— 3,85	+ 0,07	+ 3,92	1	+ 3,92	0	0,00
NOzO	+ 29,8	SWzW	— 25,7	+ 2,05	+ 27,75	S_5	+ 23,07	S_3	+ 15,42	+ 2,05	— 4,10	— 1,02	+ 3,07	S_6	+ 2,83	— S_2	— 1,18
ONO	+ 27,3	WSW	— 24,2	+ 1,55	+ 25,75	S_6	+ 23,80	S_2	+ 9,86	+ 1,55	— 2,50	— 0,47	+ 2,02	S_4	+ 1,42	— S_4	— 1,42
OzN	+ 25,3	WzS	— 23,7	+ 0,80	+ 24,50	S_7	+ 24,03	S_1	+ 7,78	+ 0,80	— 1,15	— 0,18	+ 0,98	S_2	+ 0,37	— S_6	— 0,90
Ost	+ 22,5	West	— 22,4	+ 0,05	+ 22,45	1	+ 22,45	0	0,00								
OzS	+ 18,5	WzN	— 21,2	— 1,35	+ 19,85	S_7	+ 19,47	— S_1	— 3,87								
OSO	+ 15,3	WNW	— 19,7	— 2,20	+ 17,50	S_6	+ 16,17	— S_2	— 6,70								
SOzO	+ 10,3	NWzW	— 17,7	— 3,70	+ 14,00	S_5	+ 11,64	— S_3	— 7,78								
SO	+ 5,3	NW	— 13,0	— 3,85	+ 9,15	S_4	+ 6,47	— S_4	— 6,47								
SOzS	— 1,0	NWzN	— 7,2	— 4,10	+ 3,10	S_3	+ 1,72	— S_5	— 2,58								
SSO	— 5,3	NNW	+ 0,3	— 2,50	— 2,80	S_2	— 1,07	— S_6	+ 2,59								
SzO	— 8,8	NzW	+ 6,5	— 1,15	— 7,65	S_1	— 1,49	— S_7	+ 7,50								
						+ Summe =	191,51		128,53		+ Summe	0,87		+ Summe	14,04		+ 4,46
						+ Summe =	2,56		27,40		— Summe	2,19		— Summe	0,00		— 3,50
						8 :	+ 188,95	8 :	+ 101,13		8 :	— 1,32		4 :	+ 14,04	4 :	+ 0,96
						$B = + 23{,}62°$		$C = + 12{,}64°$			$A = - 0{,}17°$			$D = + 3{,}51°$		$E = + 0{,}24°$	

1. Berechnung der Koëfficienten $\mathfrak{A}$, $\mathfrak{B}$, $\mathfrak{C}$, $\mathfrak{D}$, $\mathfrak{E}$.

Formeln:

$$\mathfrak{A} = \sin A$$
$$\mathfrak{B} = \sin B\,(1 + \tfrac{1}{2}\sin D + \tfrac{1}{12}\sin\text{vers}\, B - \tfrac{1}{4}\sin\text{vers}\, C) + \tfrac{1}{2}\sin C \sin E$$
$$\mathfrak{C} = \sin C\,(1 - \tfrac{1}{2}\sin D - \tfrac{1}{4}\sin\text{vers}\, B + \tfrac{1}{12}\sin\text{vers}\, C) + \tfrac{1}{2}\sin B \sin E$$
$$\mathfrak{D} = \sin D\,(1 + \tfrac{1}{2}\sin\text{vers}\, D)$$
$$\mathfrak{E} = \sin E - \sin A \sin D.$$

$A = -\ 0{,}17^\circ \quad \sin A = -0{,}003$
$B = +\ 23{,}62^\circ \quad \sin B = +0{,}401 \quad \sin\text{vers}\, B = 0{,}084$
$\tfrac{1}{2}\sin B = +0{,}200 \quad \tfrac{1}{4}$ „ „ „ $= 0{,}021$
$\tfrac{1}{12}$ „ „ „ $= 0{,}007$
$C = +\ 12{,}64^\circ \quad \sin C = +0{,}219 \quad \sin\text{vers}\, C = 0{,}025$
$\tfrac{1}{2}\sin C = +0{,}110 \quad \tfrac{1}{4}$ „ „ „ $= 0{,}006$
$\tfrac{1}{12}$ „ „ „ $= 0{,}002$
$D = +\ 3{,}15^\circ \quad \sin D = +0{,}061 \quad \sin\text{vers}\, D = 0{,}002$
$\tfrac{1}{2}\sin D = +0{,}030 \quad \tfrac{1}{2}\sin\text{vers}\, D = 0{,}000$
$E = +\ 0{,}24^\circ \quad \sin E = +0{,}004$

$$\mathfrak{B} = +0{,}401\,(1 + 0{,}030 + 0{,}007 - 0{,}006) + 0{,}110\,.\,0{,}004$$
$$= +0{,}414$$
$$\mathfrak{C} = +0{,}219\,(1 - 0{,}030 - 0{,}021 + 0{,}002) + 0{,}200\,.\,0{,}004$$
$$= +0{,}209$$
$$\mathfrak{D} = +0{,}0061\,.\,(1 + 0{,}000)$$
$$= +0{,}061$$
$$\mathfrak{E} = +0{,}004 - (-0{,}003)\,.\,0{,}061$$
$$= +0{,}004.$$

2. Berechnung

der Koëfficienten $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{C}$ aus Beobachtungen auf einem Kurse nach den Formeln:

$$\mathfrak{B} = +\frac{1}{\lambda}\cdot\frac{H'}{H}\cos\zeta' - (1 + \mathfrak{D})\cos\zeta$$
$$\mathfrak{C} = -\frac{1}{\lambda}\cdot\frac{H'}{H}\sin\zeta' + (1 - \mathfrak{D})\sin\zeta$$

$\lambda = 0{,}883$ $\mathfrak{D} = +0{,}061$ aus früheren Beobachtungen ermittelt.

$\zeta' = N\ 20{,}5^\circ$ Ost; $\delta = +22{,}5^\circ$; $\zeta = N\ 43{,}0^\circ$ Ost; $T = 1{,}637$; $T' = 1{,}551$.

$$\frac{T^2}{T'^2} = \frac{H'}{H} = 1{,}114$$

$$\mathfrak{B} = \frac{1}{0{,}883}\cdot 1{,}114\,.\,0{,}937 - (1 + 0{,}061)\,.\,0{,}731$$
$$= +0{,}407$$

$$\mathfrak{C} = -\frac{1}{9{,}883}\cdot 1{,}114\,.\,0{,}350 + (1 - 0{,}061)\,.\,0{,}682$$
$$= +0{,}208.$$

3. Berechnung des Koëfficienten λ aus den Schwingungsbeobachtungen auf 6 verschiedenen Kursen nach der Formel:

$$\lambda = \frac{H'}{H} \cdot \frac{\cos \delta}{1 + \mathfrak{B} \cos \zeta - \mathfrak{C} \sin \zeta + \mathfrak{D} \cos 2\zeta}$$

$\mathfrak{B} = +0{,}414$ $\mathfrak{C} = +0{,}209$ $\mathfrak{D} = +0{,}061$

$\log \mathfrak{B} = 9{,}6170$ $\log \mathfrak{C} = 9{,}3201$ $\log \mathfrak{D} = 8{,}7853$

ζ	$\log \cos \zeta$	$\log \sin \zeta$	$\log \cos 2\zeta$	δ	$\log \cos \delta$	$\log \frac{H'}{H}$	$\log \frac{H'}{H} \cos \delta$
43°	9,8641	9,8338	8,8435	+ 22,5°	9,9656	0,0468	0,0124
161°	9,9757 n	9,5126	9,8965	— 7°	9,9968	9,7518	9,7486
185°	9,9983 n	8,9403 n	9,9934	— 18°	9,9782	9,8152	9,7934
265°	8,9403 n	9,9983 n	9,9934 n	— 20°	9,9730	0,0302	0,0032
335°	9,9573	9,6259 n	9,8081	— 1°	9,9999	0,1156	0,1155
342°	9,9782	9,4899 n	9,9082	— 2°	9,9997	0,1028	0,1025
	$\log \mathfrak{B} \cos \zeta$	$\log \mathfrak{C} \sin \zeta$	$\log \mathfrak{D} \cos 2\zeta$				
43°	9,4811	9,1539	7,6288				
161°	9,5927 n	8,8327	8,6818				
185°	9,6153 n	8,2604	8,7787				
265°	9,5573 n	9,3184 n	8,7787 n				
335°	9,5743	8,9460 n	8,5934				
342°	9,5952	8,8100	8,6935				
	$\mathfrak{B} \cos \zeta$	$\mathfrak{C} \sin \zeta$	$\mathfrak{D} \cos 2\zeta$	$1 + \mathfrak{B} \cos \zeta - \mathfrak{C} \sin \zeta = \mathfrak{D} \cos 2\zeta$	$\log (1 + \mathfrak{B} \cos \zeta - \mathfrak{C} \sin \zeta + \mathfrak{D} \cos 2\zeta)$	$\log \lambda$	λ
43°	+ 0,303	+ 0,142	+ 0,004	1,165	0,0663	9,9461	0,883
161°	— 0,392	+ 0,068	+ 0,048	0,588	9,7694	9,9792	0,953
185°	— 0,412	— 0,018	+ 0,060	0,666	9,8235	9,9699	0,933
265°	— 0,036	— 0,208	— 0,060	1,112	0,0461	9,9571	0,906
335°	+ 0,375	— 0,088	+ 0,039	1,502	0,1767	9,9388	0,869
342°	+ 0,394	— 0,065	+ 0,049	1,508	0,1784	9,9241	0,840

Mittel $\lambda = 0{,}899$.

Aus Beispiel 3 wird ersichtlich, dass die Bestimmung von λ auf einem Kurse nur einen angenäherten Werth ergiebt. Aus mehreren Beobachtungen lässt sich aber, wenn dieselben einigermassen gleichmässig auf die vier Quadranten vertheilt sind, immer ein befriedigender Werth von λ ableiten, auch wenn die einzelnen Werthe unter einander, wie in dem vorgeführten Beispiel, differiren.

4. Berechnung
von μ aus Beobachtungen auf einem Kurse nach der Formel:

$$\mu = \frac{Z'}{Z} - \frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} \cdot \cos \zeta$$

ζ	T	ϑ	$\frac{Z'}{Z}$	
164°	1,464ˢ	1,417ˢ	0,937	g angenommen + 0,043; tg ϑ für Kiel 2,50

$$\mu = 0.937 - \left(\frac{+0{,}043}{2{,}50} \cdot -0{,}961\right)$$
$$= 0{,}953.$$

5. Berechnung
von μ und g aus Beobachtungen auf zwei Kursen nach den Formeln:

$$\mu = \frac{\frac{Z'_1}{Z} \cdot \cos \zeta_2 - \frac{Z'_2}{Z} \cdot \cos \zeta_1}{\cos \zeta_2 - \cos \zeta_1}$$

$$\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = \frac{\frac{Z'_1}{Z} - \frac{Z'_2}{Z}}{\cos \zeta_1 - \cos \zeta_2}$$

$$\zeta_1 = 164^\circ \quad \cos \zeta_1 = -0{,}961 \quad \frac{Z'_1}{Z} = 0{,}937$$

$$\zeta_2 = 342^\circ \quad \cos \zeta_2 = +0{,}951 \quad \frac{Z'_2}{Z} = 0{,}981$$

$$\mu = \frac{0{,}937 \,.\, 0{,}951 - 0{,}981 \,.\, (-0{,}961)}{0{,}951 - (-0{,}961)}$$
$$= 0{,}959$$

$$\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = \frac{0{,}937 - 0{,}981}{-0{,}961 - 0{,}951}$$
$$= +0{,}028$$
$$g = 0{,}028 \,.\, 2{,}50$$
$$= +0{,}070.$$

6. Berechnung

von μ und g aus Beobachtungen auf 6 Kursen.

Wenn Beobachtungen auf mehreren Kursen angestellt sind, so hat man für einen jeden derselben die Gleichung wie in Beispiel 4:

$$\mu + \frac{Z'}{Z} - \frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} \cos \zeta$$

und kann aus diesen Bedingungsgleichungen in ganz derselben Weise wie auf Seite 68 nach der Methode der kleinsten Quadrate die beiden Unbekannten μ und $\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta}$ finden. Man bildet zunächst die Summen

$$\left[\frac{Z'}{Z}\right]; \ [\cos \zeta]; \ [\cos^2 \zeta]; \ \left[\frac{Z'}{Z} \cos \zeta\right]$$

und stellt dann die beiden Normalgleichungen auf, aus denen man die Unbekannten ableitet.

Kurs	T'	T'^2	T	T^2	$\frac{Z'}{Z}$	$\cos \zeta$	$\cos^2 \zeta$	$\frac{Z'}{Z} \cos \zeta$
$\zeta_1 = 43°$	1,400	1,9600	1,417	2,0082	1,025	+ 0,731	0,535	+ 0,749
$\zeta_2 = 164°$	1,464	2,1429	1,417	2,0082	0,937	— 0,961	0,924	— 0,900
$\zeta_3 = 185°$	1,435	2,0597	1,417	2,0082	0,975	— 0,996	0,992	— 0,970
$\zeta_4 = 265°$	1,442	2,0797	1,417	2,0082	0,966	— 0,087	0,008	— 0,084
$\zeta_5 = 335°$	1,433	2,0531	1,417	2,0082	0,978	+ 0,906	0,820	+ 0,886
$\zeta_6 = 342°$	1,394*)	1,9436	1,381*)	2,0082	0,981	+ 0,951	0,904	+ 0,933
				Summen:	5,862	+ 0,544	4,183	+ 0,614

*) Nadel II.

Normalgleichungen
$$\begin{cases} 6\,\mu + 0{,}544 \,\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 5{,}862 \\ 0{,}544\,\mu + 4{,}183 \,\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 0{,}614 \end{cases}$$

$$1.\ \ \mu + 0{,}091 \,\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 0{,}977$$

$$2.\ \ \mu + 7{,}689 \,\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 1{,}129$$

$$2. - 1. = 7{,}598 \,\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 0{,}152$$

$$\frac{g}{\operatorname{tg} \vartheta} = 0{,}020 \qquad g = 0{,}020 \,.\, 2{,}50 = + 0{,}050$$

$$1.\ \ \mu + 0{,}091 \,.\, 0{,}020 = 0{,}977$$

$$\mu \ \ 0{,}975.$$

horizontalen Ebene geneigte Stellung an. Die horizontale Ebene wird durch eine Libelle fixirt. Schaltet man nun einen Vertikalmagneten unter der Instrumentenaufstellung ein und verschiebt ihn so lange, bis die Nadel wieder horizontal gerichtet ist, so ist offenbar die störende Vertikalkraft (der Krängungsfehler am Kompassort) kompensirt.

Das Vorstehende setzt voraus, dass die Horizontalkraft konstant geblieben ist. Es ist aber einleuchtend, dass die störende Vertikalkraft eine grössere Wirkung ausüben kann, wenn die Horizontalkraft sich verringert. Eine solche Verringerung der Horizontalkraft tritt bei den Kompassen an Bord im Allgemeinen ein und muss daher berücksichtigt werden beim Gebrauch des Instruments. Die Nadel muss daher nicht horizontal gestellt werden, sondern noch etwas geneigt bleiben, damit bei der Horizontalkraft λ der kleine Einstellungsmagnet im Instrument die genaue Horizontalstellung hervorbringt. Je kleiner λ, desto mehr wird also der wirksame Pol des kleinen Magneten von der Nadel fortgeschraubt.

Beschreibung und Gebrauch des Instruments.

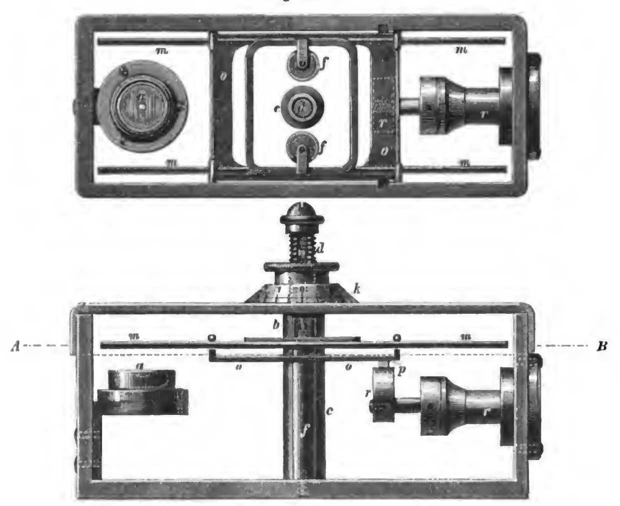
In einer länglichen Metallbüchse (Fig. 103) sind zwei Magnetnadeln *m m* (in Stricknadelform) in einem kleinen Rahmen befestigt, welcher mit den zwei Iridiumspitzen seiner Horizontalaxe auf Sapphirlagern auf den Stützen *f f* ruht. Im Innern der mit einem Glasdeckel verschlossenen Büchse sind auf jeder Seite horizontale Linien gezogen, an welchen man die horizontale Lage der Magnete beobachten kann, wenn die Büchse mittelst der Libelle *a* horizontal gestellt ist. Vertikal in der Mitte der Büchse ist eine Metallhülse *c* angebracht, in welcher sich ein Magnet, eingeschlossen in eine Messingspindel *d*, auf- und niederschrauben lässt. Die Spindel trägt eine Theilung, an welcher man die Höhenstellung des Magneten ablesen kann. An dem Kopf der Hülse *k* kann man die Höhenstellung bis auf $\frac{1}{10}$ Umdrehung einstellen. (Eine Umdrehung der Spindel ist gleich einem Theilstrich.) Unter den Nadeln befindet sich noch eine Arretirvorrichtung, bestehend in einer Platte *o*, welche vermittelst eines Excenters *r p* hoch und niedrig gestellt werden kann. Wenn das Instrument sich ausser Gebrauch befindet, wird die Platte so hoch gestellt, dass sie die Nadeln aus ihren Lagern hebt.

Für den Gebrauch des Instruments ist zunächst die Bestimmung der Höhenstellung des Vertikalmagneten für verschiedene Werthe von λ erforderlich. Man berechnet eine Tabelle in folgender Weise:*)

*) Vergl. den Aufsatz von Nees v. Esenbeck in den Annalen der Hydrographie etc. 1881, Seite 255, „Die Vertikalkraftwage“.

Man setzt das Instrument auf eine Vorrichtung auf, welche gestattet, einen Vertikalmagneten unter dem Instrument mit Genauigkeit in verschiedenen Abständen einzustellen. Für diese verschiedenen Abstände misst man die Vertikalkraft mittelst einer Vertikalnadel (z. B. der des Deviationsmagnetometers). Die Quadrate der Schwingungszahlen sind

Fig. 103.



umgekehrt proportional den Vertikalkräften. Bezeichnet man die Vertikalintensität des Orts mit Z, so erhält man für jeden Abstand einen Werth

$$Z' = \frac{Z\,T^2}{T'^2}.$$

Die so gefundenen Z' stellt man graphisch zusammen mit den entsprechenden Ablesungen y des Instruments für Horizontaleinstellung der Nadel, Z' als Ordinate, y als Abscisse. Man erhält daraus eine Kurve, an welcher man für jeden Werth von λ*) ($Z = 1$ gesetzt) die Einstellung y

*) Für den vollständig kompensirten Kompass wird schliesslich $\lambda = \mu$.

abgreifen kann. Ein solches Verfahren lieferte z. B. die nachstehende Tabelle:

λ	y	λ	y
0,76	4,65	0,88	6,06
0,78	4,85	0,90	6,20
0,80	5,10	0,92	6,40
0,82	5,35	0,94	6,55
0,84	5,70	0,96	6,70
0,86	5,88	0,98	6,84

Danach ist die einfache Regel: Man entnimmt aus der Tabelle für das bekannte λ des Kompasses nach der Kompensation die Einstellungszahl *y*, stellt das Instrument ein und bringt dasselbe an den Ort, für welchen der Krängungsfehler kompensirt werden muss. Dazu muss also der Kompass entfernt und das Instrument genau in der Höhe der Kompassnadel placirt werden. (Die am Instrument angebrachten Schnüre dienen zur Aufhängung der Büchse in dieser Höhe an etwa vorhandenen festen Tragringen des Kompasses.) Der vertikale Kompensationsmagnet im Kompasshause wird nun so lange verschoben, bis die Nadeln des Instruments genau horizontal stehen.

Da die Aufhängung der Nadeln nicht sehr fein ist, so muss man sich davon überzeugen, dass die Nadeln ganz frei in ihren Lagern schwingen und nicht während der Beobachtung durch die Reibung träge werden. Dazu dient ein dem Instrument beigegebener Magnet in Form eines Zirkels, welcher auseinandergeklappt wird und dann einen kleinen Hufeisenmagnet bildet, den man dem Glasdeckel des Instruments nähert.

Diese einfache Anwendung des Instruments setzt voraus, dass die semicirkulare und quadrantale Deviation vorher kompensirt sind. Ist dies nicht geschehen, so ist das Verfahren nur anwendbar für die magnetischen Kurse Ost oder West.

Da der Krängungsfehler sich mit der Ortsveränderung des Schiffes schnell ändert, so ist ein solches Instrument auch bequem an Bord zur Kontrole des Krängungsfehlers auf Reisen. Dann muss noch eine Tabelle vorhanden sein (und von Hafen zu Hafen kontrolirt werden), welche die Einstellung des Instruments für die wechselnde Vertikalintensität des Orts zu entnehmen gestattet. (Horizontalintensität aus der Karte multiplicirt mit tang Inklination.)

Die Ermittelung wird ebenso wie diejenige für verschiedene Werthe von λ vorgenommen unter Zugrundelegung der bekannten Vertikalintensität des Abgangsortes, z. B. für Wilhelmshaven $Z = 4{,}38$ statt der Einheit. Eine Kurve ist hier einer Tabelle vorzuziehen.

§ 116. Instrumente zum Reguliren der Kompasse ohne Deviationsbestimmung.

Aus der Theorie der Kompensation der Kompasse ist bekannt, dass man die magnetischen Horizontalkräfte, welche auf den Kompass wirken, darstellen kann als aus drei Theilen bestehend, nämlich:

1. Die Horizontalkraft des Erdmagnetismus in der Richtung des magnetischen Meridians wirkend. Dieselbe wird als Einheit gesetzt.

2. Die im weichen Eisen des Schiffes inducirte Horizontalkraft. Das weiche Eisen kann bei symmetrischer Vertheilung versinnlicht werden als ein induktionsfähiger Eisenfaden horizontal längsschiffs a und ein ebensolcher querschiffs e in der Ebene der Kompassnadel. Liegt das Schiff magnetisch Nord oder Süd an, so setzen sich diese beiden Kräfte zusammen zu $(1 + a)$; auf Ost oder West zu $(1 + e)$; auf einem magnetischen Kurse ζ zu $(1 + a) \cos \zeta$ längsschiffs und $(1 + e)$, $\sin \zeta$ querschiffs.

3. Der dritte Theil — zusammengesetzt aus der Horizontalkraft des Schiffsmagnetismus und des vertikal inducirten Eisens, welches analoge Wirkung äussert — lässt sich versinnlichen als ein Magnet horizontal längsschiffs $(\lambda \mathfrak{B})$ und ein Magnet horizontal querschiffs $(\lambda \mathfrak{C})$.

Die auf die Kompassnadel wirkende Gesammtkraft in der Richtung dieser Nadel H' setzt sich also zusammen aus zwei Komponenten:

$$H' \cos \zeta' = (1 + a) \cos \zeta + \lambda \mathfrak{B} \text{ längsschiffs}$$
$$H' \sin \zeta' = (1 + e) \sin e + \lambda \mathfrak{C} \text{ querschiffs.}$$

(ζ' bedeutet Kompasskurs; $\zeta' - \zeta = \delta$).

Fällt die Richtung der Kompassnadel mit derjenigen der Mittschiffslinie zusammen (d. h. $\zeta' = 0°$ oder $180°$) so ist:

$$H'_0 = (1 + a) \cos \delta_0 + \lambda \mathfrak{B} \text{ auf Kompasskurs Nord}$$
$$H'_{180} = (1 + a) \cos \delta_{180} - \lambda \mathfrak{B} \text{ auf Kompasskurs Süd.}$$

Ebenso ist, wenn $\zeta' = 90°$ oder $270°$:

$$H'_{90} = (1 + e) \cos \delta_{90} + \lambda \mathfrak{C}$$
$$H'_{270} = (1 + e) \cos \delta_{270} - \lambda \mathfrak{C}.$$

Mit Hülfe dieser vier Relationen lassen sich die drei Koëfficienten $\mathfrak{B}, \mathfrak{C}, \mathfrak{D}$ ableiten aus Beobachtungen der Horizontalkraft H' auf den vier Kompasskursen, sobald δ_0 $(= - \delta_{180})$ und δ_{90} $(= - \delta_{270})$ einen Strich nicht übersteigen und das Eisen symmetrisch um den Kompass vertheilt ist.

Es ist nach der Theorie von Evans und Smith:

$$\lambda = 1 + \frac{a + e}{2}$$

$$1 + a = \lambda (1 + \mathfrak{D})$$
$$1 + e = \lambda (1 - \mathfrak{D})$$

$$\mathfrak{D} = \frac{1}{\lambda} \frac{a - e}{2}.$$

Man findet daraus, da die cos δ unter Innehaltung der angeführten Beschränkung nahe genug übereinstimmen:*)

$$\frac{(H'_0 + H'_{180}) - (H'_{90} + H'_{270})}{H'_0 + H'_{180} - H'_{90} + H'_{270}} = \frac{(1+a) - (1+e)}{(1+a) + (1+e)} = \frac{a-e}{2\lambda} = \mathfrak{D}$$

$$\frac{H'_0 - H'_{180}}{\frac{1}{4}(H'_0 + H'_{180} + H'_{90} + H'_{270})} = \frac{\lambda \mathfrak{B}}{\lambda} = \mathfrak{B} \text{ ebenso:}$$

$$\frac{H'_{90} - H'_{270}}{\frac{1}{4}(H'_0 + H'_{180} + H'_{90} + H'_{270})} = \mathfrak{C}.$$

Daraus findet man für jeden magnetischen Kurs den Kompasskurs nach der Formel:

$$\operatorname{tg} \zeta' = \frac{(1 - \mathfrak{D}) \sin \zeta - \mathfrak{C}}{(1 + \mathfrak{D}) \cos \zeta + \mathfrak{B}}.$$

Auf diese Betrachtungen gründet sich die Anwendung von verschiedenen Instrumenten zur Ermittelung von Deviationskoëfficienten und Kompensation der Kompasse ohne Deviationsbeobachtungen.

Die *Alhidade déviatrice* von Fournier z. B. ist ein solches Instrument, welches im Wesentlichen der Ablenkungsschiene des Deviationsmagnetometers entspricht, direkt auf die Kompassrose angewendet. Dieses Instrument ist aber selbst in der französischen Marine nur vereinzelt in Anwendung gekommen.

Neuerdings hat Sir W. Thomson ein Instrument unter der Bezeichnung *adjustable deflector* konstruirt, welches demselben Zweck gewidmet ist. Dieses Instrument ist bisher nur dem Thomsonschen Kompasssystem angepasst. Die folgende Beschreibung ist einem Vortrage Sir William Thomsons entnommen.**)

§ 117. Sir William Thomsons Deflektor.

Erklärung der Figur. *dd* in die Rahmen *AA* eingehängte Gewindemuttern; *cc* Schrauben mit Rechts- und Linksgewinde; *aa* messingne Scheibe auf *cc* fest zur Ablesung von Zehnteln der Skalentheilung auf *HH*. *ABA'* und *ABA'* die beiden um eine Axe *B* drehbaren Rahmen. *A'A'* die Nord- und Südpole, welche die Wirkung ausüben. *HiiH* Skala, *EG* der Glasdeckel des Kompassgehäuses. *K* Fuss unter dem Schwerpunkt des Instruments. *L* die anderen Füsse, *f* die Feder unter der Bodenplatte. *OO* Leitstäbe, welche zur Führung der Enden der Axe *B* dienen, bei deren Auf- und Abbewegung während des Drehens der Schraube *cc*. *P* Gummibändchen, welches *B* niederhält, *X* Zeiger, *MM* Schrauben, um die Entfernung des Instruments vom Glasdeckel zu reguliren.

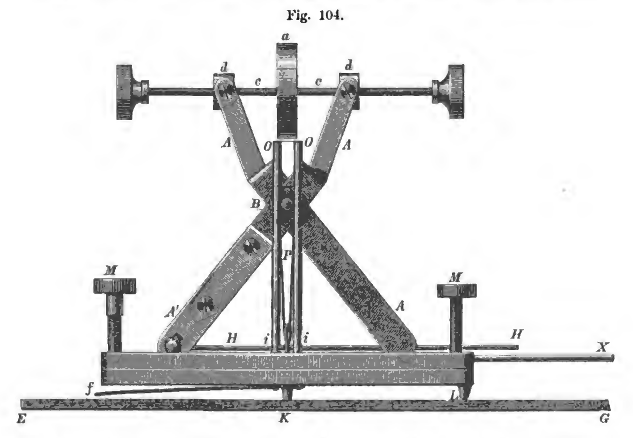
Der Deflektor besteht aus zwei Paar kleiner Magnetstäbe aus Stahl, welche an messingenen Rahmen befestigt sind. Diese Rahmen sind mit einander verbunden und werden von der Bodenplatte getragen, welche auf den Glasdeckel des Kompasses gesetzt wird, wenn das Instrument

*) Zwischen 1 und 0,98, da cos 1 Str = 0,98.

**) Journal of the Royal United Service Institution. Vol. XXII pag. 103.

gebraucht werden soll. An den beiden Rahmen sind drehbare Schraubenmuttern $d\,d$ mit Rechts- und Linksgewinde befestigt. Eine Schraube, welche auf ihrer einen Hälfte ein Rechts-, auf der anderen Hälfte ein Linksgewinde trägt, geht durch die Muttern hindurch, so dass, wenn dieselbe gedreht wird, die unteren Nordpole den unteren Südpolen näher gebracht, oder weiter von einander entfernt werden, während die oberen Pole, da dieselben in der Nähe der Drehungsaxe der Rahmen liegen, einander immer sehr nahe bleiben. Diese Anordnung stellt gleichsam einen mit

Fig. 104.



Gelenk versehenen Hufeisenmagnet dar, dem man ein grösseres oder kleineres magnetisches Moment geben kann, indem man die Entfernung zwischen seinen Polen durch die Drehung der Schraube vergrössert oder verkleinert.

Wenn das Instrument auf den Glasdeckel des Kompasses aufgesetzt ist, so bewegen sich die effektiven Pole des Systems in horizontaler Richtung hin und her und zwar ungefähr einen halben Zoll über dem Deckelglase zu beiden Seiten einer vertikalen Ebene durch den Mittelpunkt der Glasplatte.

Die Bodenplatte hat drei Füsse, von denen der eine unter dem Schwerpunkt des Instruments in einer konischen Vertiefung in der Mitte des Glasdeckels ruht. Ein kleiner Theil des ganzen Gewichts ruht auf den anderen beiden Füssen, was durch eine messingene Feder f bewirkt wird, welche an der entgegengesetzten Seite der Bodenplatte befestigt ist.

Ein messingener Zeiger X, welcher an der Bodenplatte befestigt ist, bezeichnet die magnetische Axe des Instruments. Er zeigt vom Mittelpunkt nach der Seite der wahren Nordpole hin. Wird das Instrument mit dem Zeiger über den Nordpunkt der Rose auf den Glasdeckel des Gehäuses gesetzt, so bewirkt dasselbe keine Ablenkung, aber vermehrt die Richtkraft der Nadel.

Um die Entfernung der beiden Magnetpaare von einander zu messen, ist an dem unteren Ende zweier sich gegenüberliegender Magnete, an dem einen derselben befestigt, eine Skala angebracht, welche eine Eintheilung von 0 bis 28 trägt.

Um Zehntel der Skalentheile abzulesen, befindet sich in der Mitte auf der Schraube, welche die Rahmen bewegt, eine vertikale Scheibe, deren Umkreis in zehn Theile getheilt ist, die mit den Zahlen von 0 bis 9 bezeichnet sind. Eine Umdrehung der Scheibe entspricht dem Fortrücken der Magnete um einen Skalentheil.

Gebrauch des Instruments bei Kompensation der Kompasse.

„Zum Gebrauch des Instruments lege man das Schiff nach einander auf die vier Kardinalkurse N, O, S und W in beliebiger Reihenfolge und halte dasselbe lange genug auf jedem Kurs, um den Deflektor passend auf den Deckel des Kompassgehäuses zu setzen und denselben mit der Schraube so einzustellen, dass derselbe eine stetige Ablenkung von 85° hervorbringt, wenn der Zeiger über O oder W der Kompassrose sich befindet. Bei einem geschickten Beobachter dürften zwei Minuten für jeden Kurs genügen. Wenn die Ablesungen am Instrument, welche man auf diese Weise ermittelt hat, auf N- und S-Kurs nicht übereinstimmen, so stelle man den Deflektor auf das Mittel aus beiden Ablesungen ein und bewege nun, während das Schiff auf einem der beiden Kurse liegt, den Korrektionsmagneten so lange, bis eine Ablenkung von 85° erzielt ist. Ebenso verfahre man mit den Ablesungen am Deflektor, welche auf O- und W-Kurs gefunden wurden.

„Nachdem die Ablesungen für N- und S- sowie O- und W-Kurs auf diese Weise durch die Kompensation gleich geworden sind, ist der Kompass für jeden der vier Kardinalpunkte korrigirt, es kann jedoch noch ein Betrag quadrantaler Deviation vorhanden sein, welcher folgendermassen aufgefunden und beseitigt wird:

„Wenn die Ablesung am Deflektor für O- und W-Kurs mit der für N und S übereinstimmt, so ist der Kompass ganz kompensirt, das heisst, der Kompass ist auf jedem Kurs frei von Deviation (wohlverstanden bei ungekrängtem Schiff). Wenn aber die Ablesung auf N- und S-Kurs diejenige auf O und W übersteigt, so ist ein Betrag quadrantaler Deviation vorhanden, welcher zu beseitigen ist; die Kugeln müssen dem Kompass näher gebracht, oder es müssen grössere Kugeln genommen werden.

Wenn dagegen die Ablesung auf O- und W-Kurs die von N- und S-Kurs übertrifft, so ist die quadrantale Deviation überkompensirt und die Kugeln müssen weiter abgerückt werden vom Kompass oder durch kleinere ersetzt werden. Diese Methode beruht auf dem Grundsatz, dass, wenn die Richtkraft auf allen Kursen gleich ist, auf keinem Kurs Deviation vorhanden sein kann.

„Die Ablesung am Instrument bei der Einstellung für eine Ablenkung von 85° misst die relative Richtkraft des Kompasses. Grössere Ablesungen zeigen grössere Richtkraft, geringere Ablesungen zeigen geringere Richtkraft an."

Bemerkungen über die Handhabung des Instruments.

„Beim Gebrauch des Deflektors setze man denselben zuerst mit dem Mittelfuss in die konische Vertiefung in dem Deckel des Kompassgehäuses. Dann drehe man das Instrument, bis der Zeiger über O zeigt (oder auch über W). Der Nordpunkt der Rose wird nun dem Zeiger, welcher dabei stets seine Stellung über O (resp. über W) zu behalten hat, schnell folgen, und wenn die Rose etwa bis 40° abgelenkt ist, muss der Zeiger schnell umgedreht werden, so dass er über W (resp. über O) zu liegen kommt, und so lange hier gehalten werden, bis die Rose zur Ruhe gekommen ist, dann drehe man den Zeiger sofort auf O (resp. W) zurück. Bei einiger Uebung kann man die Rose sehr schnell aus ihrer ursprünglichen Lage heraus mit dem Zeiger über O auf dem Punkt zur Ruhe bringen, welcher der Einstellung am Deflektor entspricht. Wenn die Rose zur Ruhe gebracht ist und die Abweichung weniger als 85° beträgt, so muss man die Schraube des Deflektors so drehen, dass dadurch die ablenkende Kraft vermehrt wird. (Diese Richtung der Drehung ergiebt wachsende Zahlen an der messingenen Scheibe auf der Schraube.) Wenn dagegen die Rose erst bei einer Ablenkung von 90° oder zwischen 85° und 90° zur Ruhe kommt, oder wenn dieselbe überhaupt mit dem Zeiger des Deflektors über O nicht zur Ruhe zu bringen ist, so muss man durch Drehung der Schraube die ablenkende Kraft vermindern. Indem man die Schraube in der einen oder anderen Richtung dreht, stellt man den Deflektor so ein, dass er eine Abweichung von 85° hervorbringt. Wenn die Einstellung beendet ist, oder wenn man zu wissen wünscht, ob das Schiff noch ebenso wie vorhin anliegt, da sich der Kurs seit Beginn der Arbeit geändert haben könnte, so dreht man den Deflektor um, bringt die Rose in ihre natürliche Lage zurück und setzt sie hier zur Ruhe, wozu man sich bald die nöthige Geschicklichkeit erwerben wird.

„Wenn der Deflektor zur numerischen Bestimmung der Deviationskoëfficienten gebraucht werden soll, so muss der magnetische Werth der Ablesungen an der Skala experimentell bestimmt werden. Dies geschieht sehr einfach dadurch, dass man den Deflektor an Land auf den Kompass aufsetzt und seine ablenkende Kraft für verschiedene Einstellungen der Skala beobachtet."

§ 118. Der Kontrolkompass von Peichl.

Der Kontrolkompass soll dazu dienen, die Richtung des magnetischen Meridians unbeeinflusst von den störenden Kräften des Schiffsmagnetismus direkt zu bestimmen, ohne die sonst nothwendigen Azimutbeobachtungen.

Folgende, an sich höchst einfache Betrachtung liegt der Konstruktion des Kontrolkompasses zu Grunde.

Wenn man die horizontale Komponente des Erdmagnetismus an einem Kompassort vollständig beseitigt denkt, so dass nur der Magnetismus des Schiffskörpers und die vertikale Komponente des Erdmagnetismus in Wirksamkeit bleiben, so würde an horizontal gerichteten Kräften gerade das vorhanden sein, was aus der Lehre der Deviation als Ursache der semicirkularen Deviation bekannt ist. Diese Horizontalkraft lässt sich vereinigt denken in einem Magneten, welcher in einem Winkel α zur Kielrichtung auf den Kompassort wirkt. Eine Inklinationsnadel würde, in dieser Vertikalebene zur Kielrichtung schwingend, die geringste Neigung zeigen, welche konstant bliebe, gleichviel, welchen Kurs das Schiff anliegt, so lange α konstant bliebe.

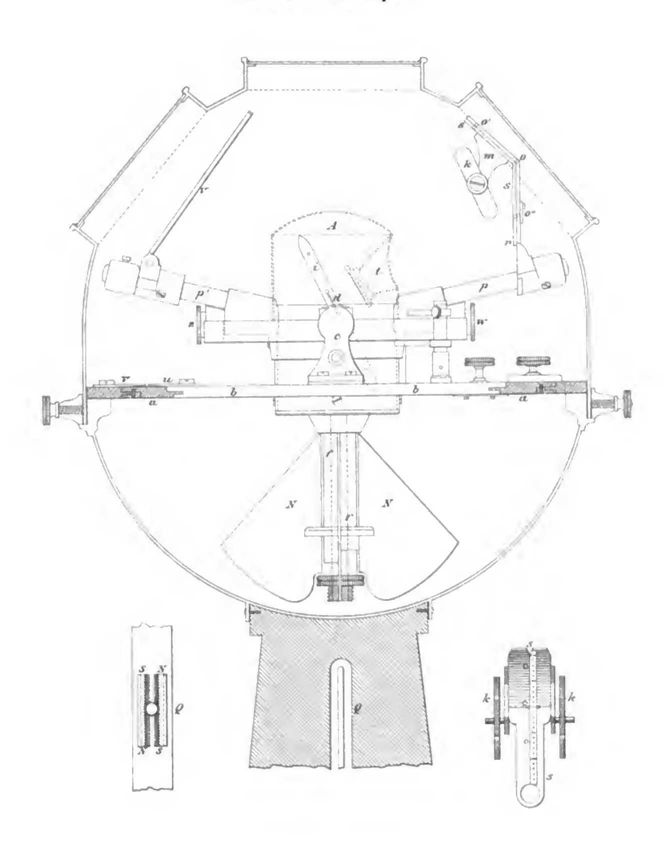
In einem andern Winkel zur Kielrichtung $\alpha - \varphi$ würde eine grössere Neigung, aber ebenfalls konstant auf allen Kursen, beobachtet werden.

Wenn nun die horizontale Komponente des Erdmagnetismus in Wirksamkeit tritt, so ist die Folge, dass sich die Neigung der Inklinationsnadel ändert. Diese Aenderung wird am grössten, wenn die horizontale Erdkraft in der Vertikalebene der Inklinationsnadel wirkt, d. h. es findet die Minimalneigung der Nadel statt, wenn der Kurs gleich dem Winkel zwischen Kielrichtung und Schwingungsebene der Nadel ist (z. B. $\alpha - \varphi$). Umgekehrt wird also ein magnetischer Kurs, den man steuern will, gefunden, indem man die vertikale Schwingungsebene der Nadel in einen Winkel zur Kielrichtung einstellt, welche dem Kurswinkel entspricht. Dreht man dann mit dem Schiff so lange, bis sich die Inklinationsnadel auf die geringste Neigung einstellt, so erkennt man daran, dass in dem Augenblicke die Nordrichtung mit der Richtung der Inklinationsnadel übereinstimmt, das Schiff also richtig anliegt. Will man z. B. NW magnetisch steuern, so muss das Inklinatorium 45° zur Kiellinie eingestellt werden. Dreht nun das Schiff, so steigt die Nadel, indem man sich dem Kurse NW nähert, und würde wieder sinken, wenn die Drehung über diesen Kurs hinaus fortgesetzt würde.

Aus dieser Darstellung wird einleuchten, dass der Kurs frei von der semicirkularen Deviation durch Beobachtung einer Inklinationsnadel in konstanter Einstellung zur Kiellinie gefunden werden kann. (Von der quadrantalen Deviation, mit welcher er immer noch behaftet bleibt, wird später die Rede sein.)

Dieses einfache, dem Kontrolkompass zu Grunde liegende Princip bietet aber bei der praktischen Anwendung noch Schwierigkeiten. Der

Peichl's Kontrolkompafs.



Kurs der kleinsten Neigung lässt sich nicht genau beobachten, die Neigung ändert sich bei einer Kursänderung in der Nähe des Minimums sehr allmählich. Mit grösserer Schärfe kann man den Kurs bestimmen, welcher einer grösseren Neigung der Nadel entspricht. Einer grösseren Inklination entsprechen aber offenbar immer zwei gleich weit vom Kurse des Minimums liegende Kurse. Beobachtet man also eine Inklination grösser als das Minimum auf zwei verschiedenen Kursen, so weiss man, dass der in der Mitte zwischen beiden liegende Kurs der am Kontrolkompass eingestellte ist. Das Mittel der Kompasskurse beider Beobachtungen ergiebt aber nur annähernd den Kompasskurs, welcher dem magnetischen Mittelkurse zugehört, und zwar um so weniger annähernd, je weiter die beiden Kurse aus einander liegen, weil die Deviation sich nicht stetig von einem Strich zum andern ändert. Während also die Schärfe der Beobachtung an der Inklinationsnadel wächst, je weiter die korrespondirenden Kurse aus einander liegen, wird das Resultat der Deviationsermittelung dabei um so ungenauer. Mit Rücksicht hierauf und wegen der offenbaren Erleichterung der Anwendung bei näher zusammenliegenden korrespondirenden Kursen geht die Konstruktion des Instruments darauf aus, möglichst nahe am Minimum eine starke Aenderung der Neigung mit der Kursänderung herbeizuführen.

Dies ist erreicht: 1) durch Verstärkung der Vertikalkraft mittelst eines vertikalen Induktionsstabes bezw. Magneten unter der Nadel, 2) durch Verstärkung der Horizontalkraft in der Schwingungsebene der Nadel mittelst zweier horizontaler Stäbe von weichem Eisen in dieser Ebene, 3) durch verschiebbare Gewichte an der Inklinationsnadel selbst. Ausserdem befinden sich parallel der Ebene der Schwingung noch zwei um eine horizontale Axe drehbare Magnete, welche die Inklinationsnadel in eine für die Beobachtung bequeme Neigung abzulenken gestatten.

Nach dieser allgemeinen Erläuterung kann die Beschreibung des Instruments kurz in Folgendem zusammengefasst werden.

1. Beschreibung des Kontrolkompasses.

In einem Kompasshause (Tafel XIX) ist eine Peilscheibe *a*, in Grade und Striche getheilt, eingesetzt, welche mit Hülfe eines Zeigers *v* am Steuerstrich auf den anliegenden Kurs des Schiffes eingestellt werden kann. In dieser Scheibe ist ein Alhidadenkreis *b b* drehbar, welcher auf zwei Trägern *c* in kardanischer Aufhängung *z w* ein Inklinatorium trägt. Mit Hülfe des Index am Alhidadenkreise *u* kann die Vertikalebene des Inklinatoriums in einen beliebigen Winkel zum Kurse eingestellt werden.

Die Inklinationsnadel *i* besteht aus einer Doppelnadel, welche mit prismatischer Axe in zwei Achatlagern schwingt. Für die Ablesung ist zwischen den Nadeln ein kleiner Spiegel *d* mit horizontalem Ablesestrich eingesetzt.

In der Vertikalaxe des Instruments unter der Fussplatte des Inklinatoriums befindet sich eine Metallröhre *f*, welche vier Flügel *NN* trägt, um den Schwerpunkt des in koncentrischen Ringen schwingenden Instruments zu versenken.*) Dieselbe Röhre dient zugleich zur Aufnahme eines vertikalen Induktionsstabes zur Vermehrung der Vertikalkraft.

Die Nadel selbst hat verhältnissmässig geringen Spielraum in ihrer Schwingungsebene — etwa 45 Grad —, da sie nur dazu dienen soll, Inklinationsdifferenzen anzuzeigen, während ihre Mittellage durch in derselben Vertikalebene drehbare Magnete regulirt werden kann. Diese Regulatoren *k* befinden sich zusammen mit der Ablesungsvorrichtung auf einem Arm, welcher aus dem Inklinatorium in der Inklinationsebene hinausragt. Dieser Arm besteht aus einem nahe horizontal liegenden Messingrohr *p* — zugleich zur Aufnahme eines horizontalen Induktionsstabes dienend —, an dessen Ende ein vertikaler Träger *r* befestigt ist. An diesem Träger befindet sich, dem Ablesespiegel der Inklinationsnadel zugewendet, eine Skala auf Elfenbein *s*, in dieser drei Okularlöcher *o*, *o'*, *o''* und daneben zwei Ansätze *m*, in welchen je ein als Inklinationsregulator fungirender Magnet *k* sich um eine Horizontalaxe dreht. (Zur genauen Regulirung der Inklination wird der vertikale Kompensationsmagnet *Q* verwendet.) Diametral zu diesem Arm ist noch ein zweiter angebracht *p'*, welcher ebenfalls einen horizontalen Induktionsstab enthält und einen Rahmen *V* mit Vertikalfaden trägt als Objektivdiopter für Benutzung des Instruments als Peilscheibe.

Das Inklinatorium ist von einer Metallhaube *A* überdeckt, mit Glasfenster *t*, um die Beobachtung auch bei geschlossenem Instrument vornehmen zu können. Die Arretirvorrichtungen der Nadel und der kardanischen Aufhängung, die Anordnung der verschiebbaren Gewichte auf dem schwingenden Nadelpaar, endlich die Detailkonstruktion der koncentrischen Ringe etc. können hier übergangen werden. In der Säule, welche das ganze Instrument trägt, befinden sich zwei gegen einander verschiebbare vertikale Kompensationsmagnete *Q* (zugleich zur Regulirung der Inklination bestimmt), ebenso sind bei neueren Instrumenten aussen am Instrumente Kompensationsmagnete für die semicirkulare Deviation längsschiffs und querschiffs angebracht. Diese letzteren sind nicht wesentliche Theile des Instruments und haben hauptsächlich den Zweck, die Kompensation der Krängung zu erleichtern, besonders aber für Einstellung des Instruments bei verschiedenen Kurswinkeln die Minimalneigung weniger veränderlich zu machen.

2. Fehler der Angaben des Kontrolkompasses.

Die Wirkung des horizontal inducirten weichen Eisens lässt sich von der Wirkung der horizontalen Komponente der Erdkraft nicht trennen,

*) Um die Bewegung noch mehr zu dämpfen, kann der untere Theil mit Flüssigkeit gefüllt werden, in welche dann die Flügel eintauchen.

die Vertikalebene der Resultante beider ist die am Instrumente beobachtete Nord—Süd-Richtung. Die ermittelten Kurse sind also von der quadrantalen und konstanten Deviation nicht befreit, vielmehr ist eine Deviationstabelle für dieselben erforderlich. Dazu kommt noch eine semicirkulare Aenderung der Vertikalkraft, herrührend von dem unter dem Kompass längsschiffs angeordneten weichen Eisen (dem Koëfficienten g), welcher besonders bei einer Aufstellung vorn oder hinten im Schiff bemerkbar wird. Um diesen letzteren Fehler möglichst unschädlich zu machen, wird eine Aufstellung nahe dem Hauptspant empfohlen. Der Krängungsfehler macht sich ebenfalls störend geltend, insofern als die Einstellung der Inklinationsnadel sich mit der Krängung ändert. Es kann daher nur bei aufrechter Lage des Schiffes oder konstanter Krängung genau beobachtet werden. In dieser Beziehung treten auch noch die erheblichen Schwierigkeiten hinzu, welche die Beobachtung einer Inklinationsnadel an Bord überhaupt hat. Die Auffindung eines vor Erschütterungen geschützten Ortes ist daher wichtige Bedingung des guten Funktionirens für dieses Instrument.

3. Die Beobachtung.

Die Skala *ss*, welche man, durch das mittlere Okularloch sehend, im Spiegel beobachtet, ist in der aus Tafel XIX ersichtlichen Weise getheilt. Der kleine Horizontalpfeil in der Mitte wird als Minimal- (Normal-) Inklination eingestellt; an dem darüber sichtbaren, mit drei Punkten bezeichneten Skalentheil werden die korrespondirenden Inklinationen beobachtet. Man verfährt nun folgendermassen:

Der Alhidadenkreis wird auf den magnetischen Kurs, dessen Deviation an den Kompassen des Schiffs bestimmt werden soll, eingestellt und das Schiff nahe auf diesen Kurs gebracht.

Die Inklinationsnadel wird sodann auf ihre normale Stellung gebracht, indem man durch das mittlere Okularloch sieht und den Regulatormagneten k so lange dreht, bis der Pfeil der Skala den Strich im Spiegel nahe deckt. Die genaue Deckung wird durch Verschiebung des in der Säule befindlichen Regulatormagneten Q herbeigeführt. Die Inklinationsnadel geräth dabei in Schwingungen, sie kann von einem geübten Beobachter mittelst eines Beruhigungsmagneten, der dem Instrument beigegeben ist, zum rascheren Stillstand gebracht werden.

Der Kurs wird nun geändert; die Inklination der Nadel nimmt infolge dessen zu, und das Bild der Skala im Spiegel hebt sich. Sobald der mit drei Punkten bezeichnete Skalentheil mit dem Horizontalstrich zur Deckung kommt, werden die Kompasse abgelesen und das Ruder den andern Weg gelegt. Da das Schiff immer über diesen abgelesenen Kurs hinausdrehen wird, so hat man beim Zurückdrehen Gelegenheit, noch eine zweite Ablesung zu nehmen. Man sieht sodann die Skalen im Spiegel

fallen, bis das Schiff auf den alten Kurs kommt, und wieder steigen, indem es darüber hinausdreht. Sobald dann die drei Punkte wieder mit dem Spiegelstrich zur Deckung kommen, werden wieder alle Kompasse abgelesen und das Schiff auf den alten Kurs zurückgebracht. Für jeden Steuerkompass entspricht dann das arithmetische Mittel der bei den korrespondirenden Inklinationen abgelesenen Kurse dem am Kontrolkompass eingestellten magnetischen Kurs, vorbehaltlich der am magnetischen Kurse noch anzubringenden Korrektionen für die Deviation des Kontrolkompasses.

4. Die Deviation des Kontrolkompasses.

Die Bestimmung der Deviation erfolgt in der Art, dass man für jeden Strich, dessen Deviation bestimmt werden soll, das Instrument einstellt und durch Peilungen oder auf sonstige Weise den magnetischen Kurs bestimmt, welchen das Schiff bei den beiden Beobachtungen der korrespondirenden Inklinationen anliegt. Das arithmetische Mittel dieser beiden Kurse ist der magnetische Kurs, welcher der Einstellung des Instruments entspricht, z. B.:

Einstellung des Kontrolkompasses ONO = N 67,5° O.

Magnetische Kurse des Schiffes bei Beobachtung der korrespondirenden Inklinationen.

	1. Ablesung	2. Ablesung (bei der Zurückdrehung)
Schiff scheert aus nach St.-B.	N 89,5° Ost	N 89,2° Ost
Schiff scheert aus nach B.-B.	N 36,1° Ost	N 36,3° Ost
Magnetischer Kurs (arithmetisches Mittel)	N 62,8° Ost	
Eingestellter Kurs	N 67,5° Ost	
Deviation	4,7° West.	

Um also den magnetischen Kurs ONO zu erhalten, muss am Instrument annähernd eingestellt werden N 72,2° Ost.

Die durch Beobachtung direkt ermittelten Deviationen werden auf bekannte Weise graphisch ausgeglichen durch Eintragung in ein Napiersches Diagramm und auf diese Weise ein genauerer Einstellungswerth für jeden Kurs erhalten. Gleichzeitig mit der Deviationsbestimmung wird der Unterschied der magnetischen Kurse bestimmt, welcher den korrespondirenden Inklinationen entspricht: z. B. in dem eben vorgeführten Beispiel 53°. Dieser Unterschied schwankt in der Regel innerhalb der Grenzen 40° und 60°.

5. Kompensation des Kontrolkompasses.

Die Kompensationsmagnete längs- und querschiffs dienen bei diesem Instrument nicht zur Fortschaffung der Fehler, sondern nur zur Erleichterung des Beobachtungsverfahrens.

Beispiel
der Deviationsbestimmung des Kontrolkompasses.

Tabelle I.

Beobachtet S. M. S. Friedrich Karl, den 7. Mai 1881.

Am Kontrol-kompass einzustellen-der Kurs	I. Ausscheeren nach B.-B.		II. Ausscheeren nach St.-B.		Amplitude I—II	Deviation des Kontrol-kompasses $\frac{I+II}{2}$
	hin	zurück	hin	zurück		
Nord	N 32,2° W	N 31,2° W	N 31,9° O	N 31,9° O	64,1°	+ 0,15°
NNO	N 13,7° W	N 13,7° W	N 49,3° O	N 49,1° O	62,9°	+ 4,75°
NO	N 8,4° O	N 9,0° O	N 70,6° O	N 72,0° O	62,6°	+ 5,00°
ONO	N 29,7° O	N 31,2° O	S 81,2° O	S 83,8° O	67,0°	+ 3,50°
O	N 47,5° O	N 48,0° O	S 45,0° O	S 47,5° O	86,8°	— 0,75°
OSO	N 89,2° O	N 88,2° O	S 33,0° O	S 34,4° O	57,6°	— 5,00°
SO	S 76,9° O	S 70,3° O	S 2,0° W	S 2,2° W	80,7°	— 6,75°
SSO	S 58,0° O	S 55,6° O	S 23,1° W	S 20,5° W	78,6°	— 5,00°
S	S 34,3° O	S 32,5° O	S 34,0° W	S 32,8° W	66,8°	0
SSW	S 14,2° O	S 4,2° O	S 41,4° W	S 45,0° W	52,4°	+ 5,50°
SW	S 4,8° O	S 1,0° O	S 76,2° W	S 74,6° W	77,3°	+ 8,25°
WSW	S 25,2° W	S 23,4° W	N 86 ° W	N 83 ° W	71,2°	+ 7,60°
W	S 45,8° W	S 48,9° W	N 51,7° W	N 53,1° W	80,2°	+ 2,5 °
WNW	S 81,9° W	S 83,1° W	N 29,2° W	N 26,8° W	69,5°	— 4,75°
NW	N 71,9° W	N 73,2° W	N 3,9° W	N 9,0° W	67,8°	— 6,10°
NNW	N 52,7° W	N 53,4° W	N 15,5° O	N 15,7° O	68,6°	— 3,80°

Daraus abgeleitet:

Tabelle II.

Gebrauchstabelle.

Es soll gesteuert werden	Am Kontrol-kompass ist einzustellen	Nach jeder Seite muss man für korrespondirende Inklination aus-scheeren	Es soll gesteuert werden	Am Kontrol-kompass ist einzustellen	Nach jeder Seite muss man für korrespondirende Inklination aus-scheeren
Nord	Nord	32°	Süd	Süd	33°
NzO	N 15° O	32°	SzW	S 14° W	30°
NNO	N 27° O	31°	SSW	S 28° W	26°
NOzN	N 39° O	31°	SWzS	S 41° W	32°
NO	N 50° O	31°	SW	S 53° W	39°
NOzO	N 61° O	32°	SWzW	S 64° W	38°
ONO	N 71° O	34°	WSW	S 75° W	36°
OzN	N 80° O	39°	WzS	S 85° W	38°
O	N 89° O	43°	W	N 87° W	40°
OzS	S 82° O	36°	WzN	N 81° W	37°
OSO	S 73° O	29°	WNW	N 72° W	35°
SOzO	S 63° O	35°	NWzW	N 61° W	34°
SO	S 52° O	40°	NW	N 51° W	34°
SOzS	S 40° O	39°	NWzN	N 38° W	34°
SSO	S 28° O	39°	NNW	N 26° W	34°
SzO	S 14° O	36°	NzW	N 13° W	34°

Aus der Darstellung des Einflusses der semicirkularen Deviation ergab sich, dass je nach dem Winkel zwischen Inklinationsebene und Richtung der Resultante der Deviation die Inklination verschieden sein muss. Die Einstellung der Nadel vermittelst der drehbaren Regulatormagneten wird daher sehr erleichtert, wenn die semicirkulare Deviation kompensirt ist. Die mehr oder weniger genaue Einstellung der betreffenden Korrektionsmagnete hat keinen Einfluss auf das Resultat.

Die quadrantale Deviation des Instruments selbst wird in der Regel nicht kompensirt. Soll es geschehen, so werden dazu weiche Eisenstangen horizontal unter dem Instrument empfohlen, da die Anbringung von Kugeln für den Gebrauch des Instruments störend sein würde.

Der Krängungsfehler wirkt an und für sich nicht störend, sobald das Schiff während der ganzen Beobachtung seine Krängung nicht ändert. (Der mit der quadrantalen Deviation bestimmte Einfluss des Koëfficienten g gehört nicht hierher.) Es entspricht nur jeder Krängung eine bestimmte Inklination der Nadel. Da hier nicht nur die Aenderung der Horizontalkraft (wie bei dem Krängungsfehler der Kompasse im Koëfficienten C) in Betracht kommt, sondern auch die Aenderung der Vertikalkraft, so kann die Nadel infolge des Krängungsfehlers bei unruhiger Lage des Schiffes erheblich in Bewegung gerathen, selbst wenn die kardanische Aufhängung gut funktionirt.

Dieser Uebelstand, in Verbindung mit der grossen Empfindlichkeit jeder vertikal schwingenden Nadel gegen mechanische Erschütterungen, beeinträchtigt die Verwendbarkeit des Instruments an Bord nothwendig.

Zur Abhülfe schlägt der Erfinder vor, mittelst des vertikalen Kompensationsmagneten durch Aufwärts- bezw. Abwärtsbewegen die in Schwingungen gerathende Nadel vor der Einstellung der Inklination durch die Regulatormagneten zu beruhigen.

Ferner ist eine Röhrenlibelle auf der Fussplatte des Inklinatoriums angebracht parallel der Schwingungsebene der Nadel. Für den Gebrauch derselben zur schätzungsweisen Korrektion der Ablesung wird die Vorschrift gegeben:

„Nähert sich die Luftblase dem Beobachter im Momente der Ablesung, so wähle man den nächst tieferen Skalentheil zur Fadendeckung, entfernt sich die Blase, so wähle man hierzu den nächst höheren Theilstrich."

Grosse Genauigkeit der Beobachtung kann unter solchen Umständen, bei welchen man von dieser Regel Gebrauch machen muss, selbstverständlich nicht mehr erwartet werden.

Bei dem Gebrauch des Instruments für längere Dauer ist zu berücksichtigen, dass die Unveränderlichkeit der quadrantalen und konstanten Deviation für dasselbe als Grundlage angenommen wird.*)

---

*) Ausführlicheres über dieses Instrument findet sich in den „Mittheilungen aus dem Gebiet für Seewesen", namentlich Beilage zu Heft I bis IV Jahrgang 1882 und Heft IV und V 1881.

§ 119. Der Intensitätsmultiplikator von Peichl.

Es ist bekannt, dass horizontal angeordnetes weiches Eisen, welches der magnetischen Induktion unterliegt, die Richtkraft eines in derselben Ebene befindlichen Kompasses vermehrt.

Bei der Kompensation der quadrantalen Deviation durch weiches Eisen wird eine solche Richtkraftvermehrung stets herbeigeführt, jedoch nur in geringem Masse und auf denselben Kompassstrichen, auf welchen dieselbe durch dasjenige horizontal angeordnete weiche Eisen geschwächt worden war, dessen Wirkung man zu kompensiren strebt. Immer aber ist eine Induktion des weichen Eisens lediglich durch die Erdkraft berücksichtigt und sorgfältig eine Induktionswirkung der Kompassnadel selbst auf die Kompensationsvorrichtung vermieden worden.

In dem Intensitätsmultiplikator von Peichl dagegen wird die magnetische Induktionskraft der Kompassnadel selbst in erster Linie verwerthet. Rund um den Kompass werden eine grosse Anzahl radial angeordneter Stäbe von weichem Eisen angebracht, so dass in jeder Kurslage des Schiffes Stäbe in ihrer Längsrichtung von den Kompassnadeln magnetisch inducirt werden. Die Eisenstäbe wirken so gewissermassen als Armatur der Kompassmagnete, und experimentell ist nachgewiesen, dass ein Gewinn an Richtkraft durch diese Anordnung erzielt werden kann. Eine grosse Nähe der Eisenstäbe ist dazu erforderlich, dieselben sind daher mit der Kompassbüchse innerhalb der kardanischen Aufhängung angebracht.

Wenn die Eisenstäbe nicht in einem Kreise sondern in einer Ellipse um den Kompass angeordnet sind, so wird eine quadrantale Deviation hervorgebracht; durch eine solche Anordnung kann also auch eine quadrantale Deviation kompensirt werden.

Da die Induktionswirkung wesentlich von der Kompassnadel herrührt, so ändert sie sich nicht proportional der Horizontalkraft des Erdmagnetismus bei einer Veränderung der geographischen Position. Ebenso wie die Intensität der Kompassnadel muss vielmehr die durch die Eisenstäbe hervorgebrachte Richtkraft und Deviation umgekehrt proportional der Horizontalintensität wachsen und abnehmen.

Aus diesem Grunde ist eine Veränderlichkeit der Ellipse nothwendig, um diese Kompensation konstant zu erhalten. Dieselbe ist in dem Apparat dadurch erreicht, dass zwei Stabsysteme über einander angebracht sind, welche sich durch Kurbeldrehung koncentrisch gegen einander verstellen lassen. Das ganze System muss als horizontal ruhend vorausgesetzt werden; sobald die Stäbe zur Horizontalebene geneigt sind, bringen sie einen semicirkularen Krängungsfehler hervor. Um diesen Fehler zu vermeiden, ist ein Vertikalmagnet unter dem Kompass, mit dem ganzen System schwingend, angebracht, der als Beruhigungsmagnet bezeichnet wird und als Kompensationsmagnet des allein durch das horizontale Stabsystem hervorgerufenen Krängungsfehlers wirkt. Eine Kompensation des Krängungs-

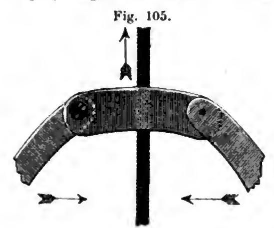
fehlers des Schiffes muss in der Normalebene zum Schiff selbst verbleiben und ist daher in der Kompasssäule unterzubringen.

Der Intensitätsmultiplikator ist mit einer Vorrichtung verbunden zur Einstellung kleiner Kompensationsmagnete für die semicirkulare Deviation unter dem Kompass und wird in dieser Verbindung von dem Patentinhaber als „Universalkompensation" bezeichnet. Die Anwendung so kleiner Kompensationsmagnete in grosser Nähe des Kompasses steht mit dem Princip des Intensitätsmultiplikators nicht nothwendig im Zusammenhang und ist auch früher schon von einzelnen englischen Mechanikern in Anwendung gebracht.

1. Beschreibung des Intensitätsmultiplikators.

Eine in kardanischer Aufhängung schwingende Bodenplatte *a a* (Taf. XX, Fig. 1) trägt in der Mitte den Kompass *b b*, welcher zur Orientirung des Steuerstrichs und Korrektion der konstanten Deviation um einen geringen Winkel centrisch zur Bodenplatte verstellbar ist. Um den Kompass sind zwei Scheiben *c*, *d* drehbar, dieselben sind in einem Rahmen so angeordnet, dass die eine über, die andere unter der Horizontalebene der Kompassrose liegt, und durch einen Kurbelmechanismus gleichzeitig in entgegengesetzter Richtung um den Kompass drehbar. Dieser Mechanismus besteht aus je einer an den Scheiben *c*, *d* wirkenden Gelenkstange. Beide Gelenkstangen gehen von einer Nuss aus, welche auf einer horizontalen Führungsschraube läuft (Fig. 105).

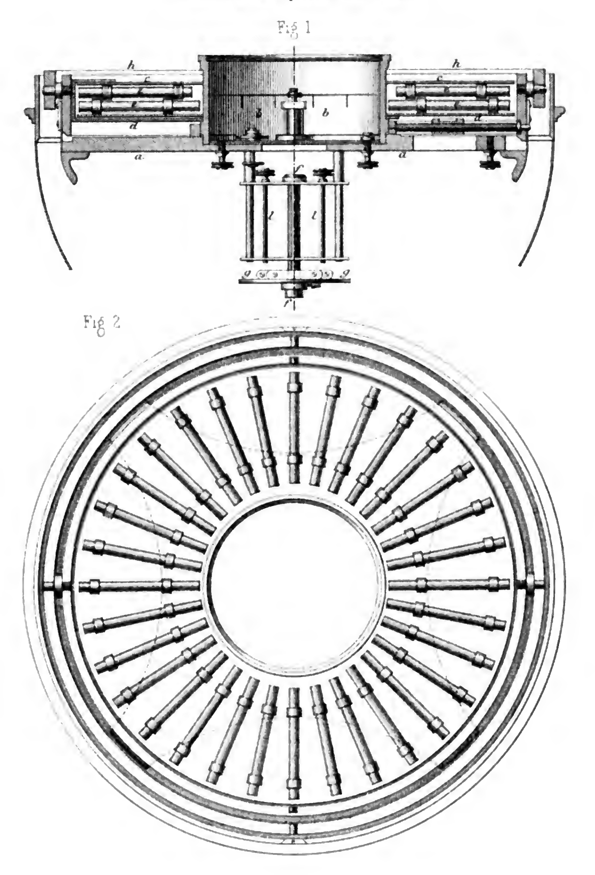
Fig. 105.



Auf jeder dieser beiden Scheiben sind radikal zum Kompassmittelpunkt 32 Eisenstäbe *e e* von 11 bis 12 cm Länge befestigt. Dieselben sind so angeordnet, dass die äusseren Enden einen zum Kompass koncentrischen Kreis bilden, während die inneren Enden in einer Ellipse liegen. Indem man diese beiden Ellipsen durch Drehen der Scheiben gegen einander verstellt, kann man die quadrantale Kompensationskraft des Systems ändern und durch rechtwinklige Stellung der Ellipsenaxen zu einander ganz aufheben. Der ganze Rahmen mit beiden Scheiben ist ausserdem auf der Bodenplatte verstellbar, für den Fall, dass die quadrantale Deviation nicht zu den Kardinalstrichen normal gerichtet, also ein Koëfficient E vorhanden ist.

Eine Verstellung der Kurbel gegen die Orientirungsrichtung des Kompasses an der E-Skala lässt die quadrantale Kompensation des

Intensitäts Multiplikator von Peichl.



Koëfficienten E bewirken. Unter dem Kompass ist ein Rahmen mit dem Apparat verbunden, welcher in einem Rohr ff in der Vertikalaxe des ganzen Systems einen verschiebbaren Beruhigungsmagneten trägt. Derselbe Rahmen dient ferner zur Aufnahme der Kompensationsmagnete für semicirkulare Deviation, gewöhnlich zwei festliegende gg und zwei an Vertikalschrauben ll verstellbare (letztere sind in der Figur fortgelassen). Diese Magnete haben die Form und Länge gewöhnlicher Lamellen der Kompassrosen.

Für die Kompensation des Krängungsfehlers befindet sich ein Magnet unterhalb des Kompasses im Kompasshause und ist dort mittelst einer Kette auf und nieder beweglich.

Der Intensitätsmultiplikator ist zum Schutz der Eisenstäbe mit einer Holzplatte hh bedeckt. Wegen des beträchtlichen Gewichts, welches in den kardanischen Ringen hängt, sind die Axen derselben zur Erzielung hinreichender Beweglichkeit mit Friktionsrollen umgeben.

2. Aufstellung des Apparats an Bord und Einstellung der Koëfficienten.

Der Krängungsfehler muss auf bekannte Weise kompensirt werden, ehe der Apparat in das Kompasshaus eingehängt wird. Der Apparat wird mit auf Null gestellter Kompensation (für die Werthe A, D, E) in das Kompasshaus eingesetzt, worauf zunächst auf zwei magnetischen Kardinalstrichen die semicirkulare Deviation kompensirt wird; darauf wird das Schiff auf einen folgenden magnetischen Interkardinalstrich angelegt, durch Drehung der Schraube D die richtige Stellung des Multiplikators für Kompensation der quadrantalen Deviation herbeigeführt und dann die Deviation bestimmt. Die Koëfficienten A und E werden aus den Beobachtungen ermittelt und am Apparat eingestellt, wobei gleichzeitig die sich etwa noch ergebenden Fehler der sonstigen Kompensation korrigirt werden. Nach Ausführung dieser Korrekturen wird keine Aenderung am Apparat mehr vorgenommen und die noch übrigbleibende Deviation endgültig festgestellt.

Der Beruhigungsmagnet kann gelegentlich eingestellt werden. Man neigt dazu den ganzen Apparat und beobachtet die dadurch verursachte Ablenkung der Nadel. Durch Nähern und Entfernen der Beruhigungsmagnete schafft man diese Ablenkung dann fort.

Den Apparaten werden verschieden starke Magnete für diesen Zweck mitgegeben, da der Spielraum für die Verschiebung nur gering ist. Auf südlicher Breite muss der Beruhigungsmagnet umgekehrt werden. In der Nähe des magnetischen Aequators ist der Magnet ganz zu entfernen.

3. Korrektur der Kompensation.

Bei Ortsveränderungen, welche Aenderung der Horizontalintensität mit sich bringen, muss die Korrektion *D* geändert werden. Die semicirkulare Deviation wird gleichzeitig korrigirt.

Die Korrektur wird mittelst der am Apparat vorhandenen Schrauben *B*, *C* auf zwei um 90° auseinanderliegenden magnetischen Kardinalstrichen und sodann mittelst der Kurbel *D* auf einem Interkardinalstrich vorgenommen.

Für die Korrektur und Kontrole der Krängungskompensation ist ein einfaches Mittel nicht vorhanden. In jedem Falle muss dieselbe bei Annäherung an den magnetischen Aequator entfernt werden. Für eine korrekte Einstellung oder Berichtigung dieser Kompensation ist der Kompass sammt Multiplikator aus dem Kompasshaus herauszunehmen.*)

§ 120. Das Deklinatorium. (Taf. XXI.)

Dieses Instrument dient zur Bestimmung der magnetischen Deklination am Lande sowohl, als auch unter günstigen Umständen an Bord eines Schiffes.

Mit Rücksicht hierauf ist das Deklinatorium mit einer kardanischen Aufhängung versehen, in welcher es arretirt und mit Hülfe einer Libelle horizontal gestellt werden kann.

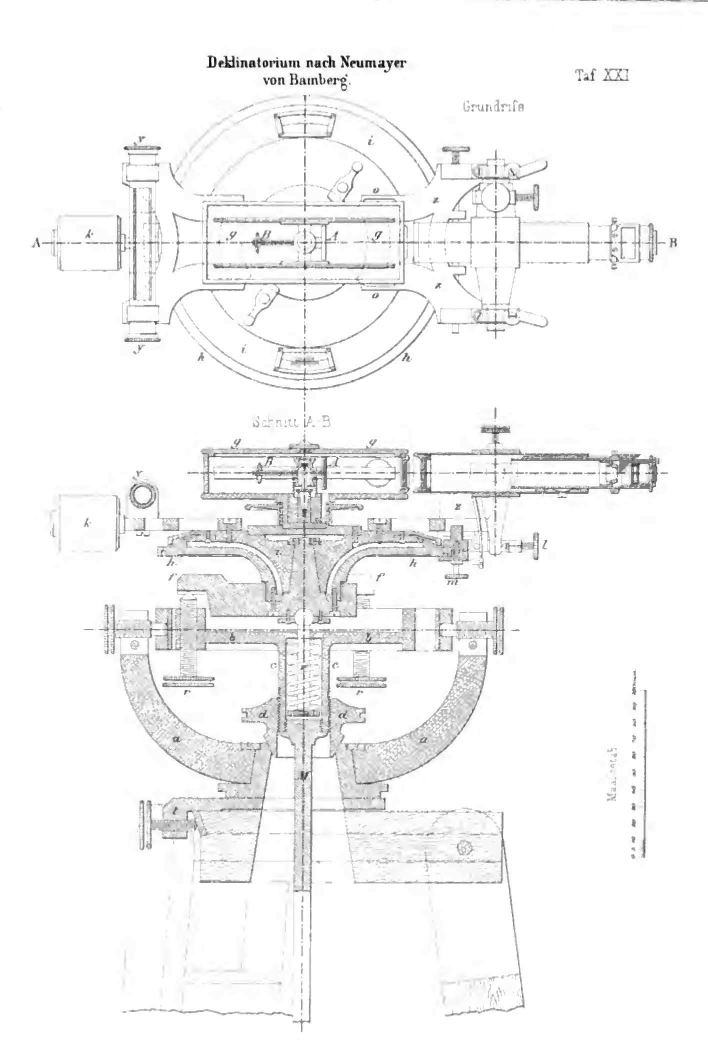
An Bord wie an Land wird das Instrument auf einen hölzernen Dreifuss aufgesetzt, dessen Kopf in der Mitte offen ist, um die am unteren Ende ein Gewicht tragende Balancirstange *M* (Taf. XXI) der kardanischen Aufhängung hindurchzulassen.

Ein Metallteller *t*, in der Mitte ebenfalls mit cylindrischer Buchse versehen, wird auf den Stativkopf mit drei übergreifenden Winkeln aufgesetzt. Dieser Teller trägt auf seiner Buchse den Gehängebogen *a a* für die kardanische Aufhängung. Der Gehängebogen lässt sich um die Buchse drehen und mittelst einer Schraube festklemmen.

Der innere Ring *b b* der kardanischen Aufhängung ist mit Ansätzen und Speichen zur Aufnahme des Instruments versehen. Zur Aufnahme der etwa 60 cm langen Balancirstange *M* mit aufzustreifendem Bleigewicht für Bordbeobachtungen befindet sich darunter in der Vertikalaxe eine Hülse *c* mit Schraubengewinde.

Auf derselben Hülse verschiebbar sitzt eine Schraube *d*, welche, heruntergeschraubt, die Aufhängung arretirt. Das eigentliche Deklinatorium

*) S. Universalkompensation für Kompasse und andere Aufsätze über diesen Apparat in den österreichischen „Mittheilungen aus dem Gebiete des Seewesens" 1879 und folgende.



Deklinatorium nach Neumayer
von Bamberg.

Taf XXI

Seite 272

ist mit der kardanischen Aufhängung durch drei flache Füsse *f* verbunden, welche auf drei Schrauben *r* des inneren Ringes aufruhen, während eine centrische Feder *V* mit Kugellager das Instrument auf die Schraube festdrückt. Die drei Füsse bilden mit einem Vertikalzapfen, welcher mit dem Horizontalkreis *h* fest verbunden ist, ein Stück. Dieser Horizontalkreis kann mit Hülfe einer Dosenlibelle und der Fussschrauben *r r* horizontal gestellt werden.

Der Kreis ist mit einer Theilung in Drittelgrade versehen, welche mittelst zweier Nonien und Lupen auf halbe Minuten abgelesen werden. Diese Nonien sitzen in einem Alhidadenkreise *i i*, welcher um den Vertikalzapfen des Untertheils drehbar ist. Auf dem Alhidadenkreise rechtwinklig zum Durchmesser der Nonienablesung ist ein Messingrahmen angebracht zur Aufnahme des Schwingungskastens *g*. Auf demselben Rahmen befindet sich der Fernrohrträger *z*, ihm gegenüber ein Spiegelträger *y* und ein Kontregewicht *k*.

Unter dem Fernrohr ist ferner noch das Mikrometerwerk *m* angebracht, welches in die an dem Horizontalkreis laufende Klemmvorrichtung eingreift.

Der Schwingungskasten, etwa 158 mm lang und 70 mm breit, ist aus Messing gefertigt und durch einen leicht abzunehmenden Glasdeckel oben verschliessbar. In den beiden langen Seitenflächen befinden sich kleine Glasscheiben *o o*, um das Innere des Kastens zu erhellen. In einer der kurzen Seitenflächen ist ein Glas eingesetzt, durch welches mit dem Fernrohr in den Kasten hineingesehen werden kann. In der Mitte des Kastens ist ein Ansatz mit Schraubengewinde zur Aufnahme der Pinne angebracht, und neben demselben befindet sich die Arretirvorrichtung, welche durch einen an der Aussenseite des Kastens vorhandenen kleinen Hebel gehandhabt wird. Ferner sind ausserhalb in den langen Seitenflächen zwei Stifte eingeschraubt, über welche zwei am Messinggestell befindliche Haken greifen, wodurch die Verbindung des Kastens mit dem Rahmen bewirkt wird.

Die Magnetnadel besteht aus sechs Lamellen von etwa 148 mm Länge, von denen je drei zu einem Magneten vereinigt und in einem Abstand von etwa 44 mm parallel zu einander durch Messingkreuze verbunden sind. In der Mitte des Messingkreuzes befindet sich eine Hülse, in welcher ein doppeltes Hütchen genau centrisch zum Magnetsystem sich soviel verschiebt, dass beim Umlegen der Nadel immer der Aufhängepunkt über dem Schwerpunkt zu liegen kommt. Vor dem Hütchen ist ein kleiner kreisrunder Spiegel *A* befestigt, welcher einen im Fernrohr angebrachten Faden reflektirt, um eine genaue Einstellung der Magnetnadel durch Deckung der beiden Bilder bewirken zu können. Hinter dem Hütchen befindet sich ein mit Schraubengewinde versehenes, horizontal liegendes Schräubchen *B*, auf welches eine Mutter geschraubt ist, die als Gegengewicht für den Spiegel dient.

Die Einrichtung des Fernrohrträgers *l* mit Schraube und gegenwirkender Feder ist aus der Tafel ersichtlich.

Das etwa 145 mm lange astronomische Fernrohr ist vor dem Okular mit einem Prisma versehen, welches zur Hälfte das halbe Gesichtsfeld einnimmt und dazu dient, Lichtstrahlen auf das Objektiv und somit auch auf das Glasfenster im Schwingungskasten und den Magnetspiegel zu werfen. Im Brennpunkte des Okulars ist ein vertikaler Faden gespannt, der im Magnetspiegel reflektirt wird. An der Okularfassung befindet sich ein farbiges Vorschlagglas für Sonnenbeobachtungen.

Steht die Sonne so hoch, dass ein direktes Einvisiren derselben mit dem Fernrohr nicht möglich ist, so bedient man sich eines zum Instrument gehörigen dunklen Azimutspiegels, welcher mit seinen cylindrischen Axen in den Spiegelträger gelegt wird und in demselben leicht gedreht und auch umgelegt werden kann.

Gebrauch des Deklinatoriums.

Der Gang der Beobachtung mit diesem Instrument ist folgender:

Nachdem das Instrument aufgestellt und nivellirt ist, wird das Magnetgehäuse entfernt und zunächst der Punkt des Kreises bestimmt, welcher mit dem astronomischen Meridian übereinstimmt. Dieses kann entweder durch Anvisiren der Sonne oder durch Anvisiren von Objekten (Miren), deren Koordinaten bekannt sind, geschehen. Ist die Sonne nur 8° bis 10° über dem Horizont, so lässt sich dieselbe durch ein Abwärtsschrauben des Fernrohrs noch direkt anvisiren. Steht sie dagegen höher, so wird mit Hülfe des kleinen Spiegels das reflektirte Bild der Sonne verschiedene Male unter steter Notirung der Zeit gepeilt; sodann legt man den Spiegel in seinen Lagern um und nimmt die gleiche Anzahl von Peilungen.

Um die Einstellung des Fadens auf die Sonnenmitte möglichst genau zu erhalten, empfiehlt es sich, nur ein kleines Segment und nicht die ganze Sonne im Spiegel erscheinen zu lassen. Um eine etwa vorhandene Abweichung der Axe des Spiegelträgers von der Axe des Fernrohrs zu eliminiren, wird das Instrument 180° gedreht und die Reflexion, indem man die Sonne im Rücken hat, bewirkt. Hierauf wird wieder eine Anzahl Peilungen genommen und sodann aus jeder Reihe von Peilungen das wahre Azimut berechnet.

Das Anvisiren der Miren muss ebenfalls mehrere Male geschehen, um ein möglichst genaues Mittel der Einstellungen zu erhalten. Aus diesem Mittel die Kollimation des Kreises abzuleiten, bietet keine Schwierigkeit, wenn die Koordinaten des Beobachtungsortes gegeben sind. Wird das Instrument aber nur in der Nähe eines so bestimmten Punktes aufgestellt, so müssen die Reduktionselemente für die Centrirung mit beobachtet und mit Hülfe derselben die Koordinaten der Station ermittelt werden.

Nachdem die Beobachtungen für die Kollimation des Kreises ausgeführt sind, wird das Magnetgehäuse aufgesetzt, der Deckel desselben entfernt und die Arretirvorrichtung hoch geschoben, sodann ist die Nadel einzulegen, der Deckel zu schliessen und die Arretirvorrichtung behutsam herunterzulassen. Sobald die Nadel sich etwas beruhigt hat, wird der Alhidadenkreis langsam gedreht, bis ein helles Kreissegment mit Vertikalfaden (das reflektirte Bild von Prisma und Faden im Fernrohr) in das Gesichtsfeld des Fernrohrs tritt; sodann ist die Klemmschraube festzusetzen und mit Hülfe der Mikrometerschraube die Deckung des reflektirten Fadens mit dem direkt gesehenen, wobei stets mit dem Finger leise auf den oberen Theil des Gehäuses getupft wird, zu bewirken. Die Nonien werden sodann abgelesen.

Hierauf wird mit dem Schraubenzieher, welcher magnetisirt ist, die Nadel aus der Gleichgewichtslage abgelenkt und die Einstellung aufs Neue in der erwähnten Weise beobachtet. Sodann ist die Nadel umzulegen und eine gleiche Anzahl Einstellungen zu beobachten.

Das Mittel aus allen Ablesungen ist der Punkt des Kreises, welcher dem magnetischen Meridian entspricht, der nun mit dem astronomischen Meridian verglichen werden muss, um die Differenz beider Punkte, die Deklination, zu erhalten.

Bei jeder Einstellung der Nadel ist die Uhrzeit zu notiren, um die Korrektion für tägliche Schwankungen zur Reduktion der Deklination auf das Mittel des Tages anwenden zu können.

Reduktion der Beobachtungen.

Die Beispiele (Seite 276 bis 278) lassen den Gang der Beobachtungen und der Reduktion derselben nach bekannten Formeln ohne weitere Erläuterung ersehen.

§ 121. Der Foxsche Apparat zur Bestimmung der Inklination und Intensität an Bord.

Das Instrument ist konstruirt zur absoluten Bestimmung der Deklination und zur relativen Bestimmung der Inklination und der Intensität. Die Bestimmung dieser drei Elemente mittelst einer Inklinationsnadel beruht auf folgendem Princip.

1. Die Deklination.

Wenn man eine Inklinationsnadel mit ihrer Aufhängung um eine vertikale Axe dreht, so stellt sie sich genau vertikal, wenn ihre horizontale Axe die Richtung des magnetischen Meridians angiebt. Dreht man das Gehäuse sodann um 180°, so muss ebenfalls wieder eine vertikale Stellung der Nadeln beobachtet werden.

[Fortsetzung auf Seite 279]

Beispiel I.

Am 6. März 1875 in 52° 33′ 34,46″ NBr und 13° 20′ 5,68″ Ost von Gr. sind mit dem Deklinatorium nachstehende Beobachtungen ausgeführt. Als Mire wurde eine etwa 300 Meter entfernt stehende Tafel benutzt.

	Zeit	Ablesung	Mittel
Mire gepeilt		41° 15′ 45″	41° 15′ 40″
		41 15 35	
I. Sonne im Rücken .	10h 15m 13s	34° 20′ 57″	10h 17m 16s ⏀ 34° 49′ 58″
	10 16 4	34 35 48	
	10 17 22	34 50 10	
	10 18 36	35 5 34	
	10 19 5	35 17 22	
II. Sonne vorne . . .	10h 26m 8s	217° 19′ 50″	10h 28m 18s ⏀ 217° 49′ 16″
	10 27 12	271 33 5	
	10 28 20	217 49 16	
	10 29 35	218 5 0	
	10 30 15	218 17 9	
III. Spiegel umgelegt Sonne im Rücken	10h 47m 8s	42° 45′ 45″	10h 50m 25,2s ⏀ 43° 49′ 15″
	10 48 33	43 18 30	
	10 50 22	43 48 0	
	10 52 17	44 20 0	
	10 53 46	44 44 0	
IV. Sonne vorne . . .	10h 57m 51s	225° 55′ 7″	11h 1m 4,8s ⏀ 226° 50′ 40″
	11 0 9	226 34 0	
	11 1 52	227 3 0	
	11 2 13	227 11 15	
	11 3 19	227 30 0	
Südende der Nadel Spiegelbezeichnung A oben	11h 17m	235° 7′ 45″	11h 21,7m = 235° 7′ 26″
	11 20	235 7 45	
	11 21	235 7 45	
	11 22	235 6 52,5	
	11 24	235 7 22,5	
	11 26	235 7 7,5	
Südende der Nadel Spiegelbezeichnung A unten	11h 33m	235° 21′ 45″	11h 36,3m = 235° 21′ 9′
	11 34	235 22 12	
	11 35	235 21 15	
	11 37	235 19 15	
	11 39	235 20 15	
	11 40	235 22 10	
Mire gepeilt		41° 15′ 0″	41° 15′ 34″
		41 16′ 7″	

Berechnung des wahren Azimuts.

I.	II.	III.	IV.
$10^h 17^m 16^s$	$10^h 28^m 18^s$	$10^h 50^m 25{,}2^s$	$11^h\ 1^m\ 4{,}8^s$
UC — 50,8	UC — 50,8	UC — 50,8	UC — 50,8
$10^h 16^m 25{,}2^s$	$10^h 27^m 27{,}2^s$	$10^h 49^m 34{,}4^s$	$11^h\ 0^m 14^s$
Ztgl. — 11 31,7	Ztgl. — 11 31,6	Ztgl. — 11 31,5	Ztgl. — 11 31,5
w. Zt. = $10^h\ 4^m 53{,}5^s$	w. Zt. = $10^h 15^m 55{,}6^s$	w. Zt. = $10^h 38^m\ 2{,}9^s$	w. Zt. = $10^h 48^m 42{,}5^s$
$t_1 = 1^h 55^m\ 6{,}5^s$	$t_2 = 1^h 44^m\ 4{,}4^s$	$t_3 = 1^h 21^m 57{,}1^s$	$t_4 = 1^h 11^m 17{,}5^s$
$\frac{1}{2}t_1 = 0^h 57^m 33{,}3^s$	$\frac{1}{2}t_2 = 0^h 52^m\ 2{,}2^s$	$\frac{1}{2}t_3 = 0^h 40^m 58{,}5^s$	$\frac{1}{2}t_4 = 0^h 35^m 38{,}5^s$

m. Ortszt. = $10^h 38^m$
O-Lg in Zt. = — 52^m
m. Gr. Zt. = $9^h 46^m$ ⊙ $\delta = -5^\circ 44' 28''$ $b = 37^\circ 26' 26''$

$$\operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(A+S) \frac{\operatorname{cotg} \frac{1}{2} t \cdot \cos \frac{1}{2}(p-b)}{\cos \frac{1}{2}(p+b)}$$

$$\operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(A-S) \frac{\operatorname{cotg} \frac{1}{2} t \cdot \sin \frac{1}{2}(p-b)}{\sin \frac{1}{2}(p+b)}$$

$\frac{1}{2}t_1 = 0^h 57^m 33{,}3^s$	log cotg 0,59083	log cotg = 0,59083
„ $t_2 = 0^h 52^m\ 2{,}2^s$	„ 0,63632	„ „ = 0,63632
„ $t_3 = 0^h 40^m 58{,}5^s$	„ 0,74300	„ „ = 0,74300
„ $t_4 = 0^h 35^m 38{,}5^s$	„ 0,80466	„ „ = 0,80466
$p = 95^\circ 44' 28''$ $\frac{1}{2}(p+b) = 66^\circ 35' 27''$	log sec 0,40089	log cosec = 0 03730
$b = 37^\circ 26' 26''$ $\frac{1}{2}(p-b) = 29^\circ\ 9'\ 1''$	log cos 9.94119	log sin = 0,68762

log tg $\frac{1}{2}(A+S)_1 = 0{,}93291$	log tg $\frac{1}{2}(A-S)_1 = 0{,}31575$
„ $_2 = 0{,}97840$	„ $_2 = 0{,}36124$
„ $_3 = 1{,}08508$	„ $_3 = 0{,}46792$
„ $_4 = 1{,}14674$	„ $_4 = 0{,}52958$.

	I.	II.	III.	IV.
$\frac{1}{2}(A+S) =$	83° 20′ 36″	84° 0′ 1″	85° 18′ 0″	85° 55′ 10″
$\frac{1}{2}(A-S) =$	64° 12′ 14″	66° 28′ 41″	71° 11′ 52″	73° 32′ 33″
w. Az. =	N 147° 32′ 50″ Ost	N 150° 28′ 42″ Ost	156° 29′ 52″ Ost	159° 27′ 43″ Ost
	S 32° 27′ 10″ Ost	S 29° 31′ 18″ Ost	S 23° 30′ 8″ Ost	S 20° 32′ 17″ Ost
⏀	214° 49′ 58″	217° 49′ 16″	223° 49′ 15″	226° 50′ 40″
S. Punkt =	247° 17′ 8″	247° 20′ 34″	247° 19′ 23″	247° 22′ 57″

I. u. II.

247° 17′ 8″
247° 20′ 34″
247° 18′ 51″

Kollimationsfehler des Kreises $= \frac{3' 26''}{2} = 1' 43''$

III. u. IV.

247° 19′ 23″
247° 22′ 57″
247° 21′ 10″

Kollimationsfehler des Kreises $= \frac{3' 34''}{2} = 1' 47''$

247° 18′ 51″
247° 21′ 10″
S. Punkt Mittel = 247° 20′ 1″

Fehler des Azimut-Spiegels: $\frac{2' 19''}{2} = 1' 10''$

Bestimmung des Azimuts der Mire.

Mittlere Peilung der Mire = 41° 15′ 37″
Südpunkt = 247° 20′ 1″

Mire bis Südpunkt = 206° 4′ 24″
Mire bis Nordpunkt = 26° 4′ 24″
Azimut der Mire = 333° 55′ 36″

Deklinationsbestimmung.

Spiegelbezeichnung A oben.	Spiegelbezeichnung A unten.
Südpunkt = 247° 20′ 1″	Südpunkt = 247° 20′ 1″
Südende der Nadel = 235° 7′ 26″	Südende der Nadel = 235° 21′ 9″
12° 12′ 35″ W.	11° 58′ 52″ W.
11° 58′ 52″	

Mittel 12° 5′ 43,5″ der Deklination
— 3′ 10.0″ Korrektion für tägliche Schwankungen (Kew)*)
Verbesserte Dekl. = 12° 2′ 33,5″ West.

Bestimmung des Fehlers des Magnetspiegels.

Südende der Nadel. Spiegelbezeichnung A oben 235° 7′ 26″
" " " " A unten 235° 21′ 9″
Mittel 235° 14′ 17,5″
Differenz 0° 13′ 43″
Korrektion für Spiegelbezeichnung A oben + 0° 6′ 46,5″
" " " A unten — 0° 6′ 46,5″

Beispiel II.

Auf der Station Ostrau I. △ Breite 54° 49′ 14,317″ N, Länge 35° 53′ 31,221″ Ost von Ferro ist am 29. April 1877 mit dem Deklinatorium beobachtet worden.

Uhrzeit	Objekt	Ablesung aus mehreren Einstellungen	Spiegelbezeichnung A	Stündliche Variation	Reducirte Ablesung
	Habichtsberg △	360° 10′ 11″			
9h 30m	Magnetnadel	281° 18′ 9″	oben	— 1′ 58″	281° 16′ 11″
10h 0m	"	281° 13′ 17″	"	— 0′ 23″	281° 12′ 54″
10h 40m	"	281° 34′ 30″	unten	+ 1′ 28″	281° 35′ 58″
11h 10m	"	281° 33′ 47″	"	+ 3′ 57″	281° 37′ 44″
1h 10m	"	281° 32′ 15″	"	+ 7′ 23″	281° 39′ 38″
1h 51m	"	281° 22′ 17″	"	+ 7′ 1″	281° 29′ 18″
2h 29m	"	281° 33′ 12″	oben	+ 6′ 3″	281° 39′ 15″
2h 53m	"	281° 29′ 17″	"	+ 5′ 25″	281° 34′ 42″
					Mittel = 281° 30′ 42″

Berechnung der Deklination.

Aus vorhergehenden Beobachtungen ergiebt sich nach den Koordinaten der Landesvermessung { Richtung nach Nord 171° 31′ 10,9″ / Habichtsberg △ 243° 30′ 5″

Richtung nach Habichtsberg △ 360° 10′ 11″	wahres Az. = N 68° 58′ 54,1″ Ost
Mittel der Beobachtungen 281° 30′ 42″	mag. Az. = N 78° 39′ 29″ Ost
mag. Az. = N 78° 39′ 29″ O	Deklination = 9° 40′ 35″ W.

*) Vergl. die Tabelle im Handbuch der Navigation § 21. Die Werthe für Kew sind dabei als für Norddeutschland genügend zutreffend angenommen. Anderenfalls ist diese Korrektion zu vernachlässigen und das Mittel aus Beobachtungen zu verschiedenen Tageszeiten zu nehmen.

2. Die Inklination.

Wenn die Richtung des magnetischen Meridians bestimmt ist, so ist es nur erforderlich, die Nadel in diese Ebene zu bringen, also ihre horizontale Axe um 90° im Azimut zu drehen, um die angenäherte Inklination an einem Vertikalkreise ablesen zu können. Eine Drehung des Inklinatoriums um 180° giebt eine zweite Einstellung.

Die genauere Bestimmung wird in folgender Weise erreicht:

Man stellt einen Ablenkungsmagneten um einen bestimmten Winkel zu der im Meridian in Ruhe befindlichen Inklinationsnadel ein und liest den Winkel ab, um welchen die Nadel abgestossen wird. Darauf stellt man den Ablenkungsmagneten um denselben Winkel auf der anderen Seite der Gleichgewichtslage der Inklinationsnadel ein und liest wiederum den durch die Abstossung hervorgerufenen Ablenkungswinkel am Vertikalkreise ab. Das Mittel dieser Ablesungen bei fortlaufender Theilung des Vertikalkreises ist ein genauerer Werth der Inklination. Durch successive Einstellung mehrerer Winkel und Beobachtung in je zwei um 180° verschiedenen Stellungen kann das Resultat weiter verschärft werden.

3. Die Intensität.

Die Intensität wird durch das Mass desjenigen Winkels gemessen, um welchen ein Gewicht, excentrisch an der im Meridian freischwingenden Inklinationsnadel aufgehängt, dieselbe aus ihrer Gleichgewichtslage ablenkt. Bei der Benutzung ein und desselben Gewichts verhalten sich die Sinus der Ablenkungswinkel α und α' wie die Intensitäten J und J', also $J' = J \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'}$.

Hat man also J und α an einer Basisstation bestimmt, so kann man durch Messung von α' an jedem anderen Ort J' finden. Durch Anbringung desselben Gewichts an der einen und an der anderen Seite des Nadelmittelpunkts erhält man zwei Ablesungen der Nadelablenkung, deren halbe Differenz den Winkel α ergiebt, während die halbe Summe mit der Ablesung bei der Gleichgewichtslage übereinstimmen muss.

Durch successive Anwendung verschiedener Gewichte und Beobachtung in zwei um 180° verschiedenen Kreislagen lässt sich die Intensitätsbestimmung vervielfältigen. In welcher Weise man in Stelle der Ablenkungsgewichte Ablenkung durch Magnetdeflektoren anwenden kann, wird bei den Vorschriften über die Anwendung des Apparates im Speciellen gezeigt werden.

Der Foxsche Apparat hat sich wegen seiner Einfachheit und bequemen Anwendung länger wie irgend ein anderes Instrument in seiner ursprünglichen Konstruktionsform erhalten und ist von der Reise der Schiffe Erebus und Terror nach den Südpolargegenden 1839 bis 1843, auf welcher zuerst die Brauchbarkeit dieses Instruments erprobt wurde, ohne wesentliche Aenderung in Anwendung geblieben bis auf die neueste Zeit.

Durch die zunehmende Anwendung von Eisenkonstruktionen im Schiffskörper ist die Anwendung dieses wie jedes andern magnetischen Instruments an Bord wesentlich erschwert worden.

Die folgende Beschreibung des Instruments bezieht sich auf ein an Bord S. M. S. Gazelle benutztes, welches von Dover in London gefertigt ist. Das ursprünglich den Foxschen Apparaten beigegebene Fernrohr zur Beobachtung des astronomischen Azimuts ist bei demselben von vornherein in Fortfall gekommen.

Beschreibung des Foxschen Apparates. (Taf. XXII.)

Das Instrument besteht aus einem Inklinatorium von besonders schwerer und fester Bauart mit denjenigen Einrichtungen, welche für Beobachtungen an Bord eines Schiffes sich als die zweckmässigsten erwiesen haben.

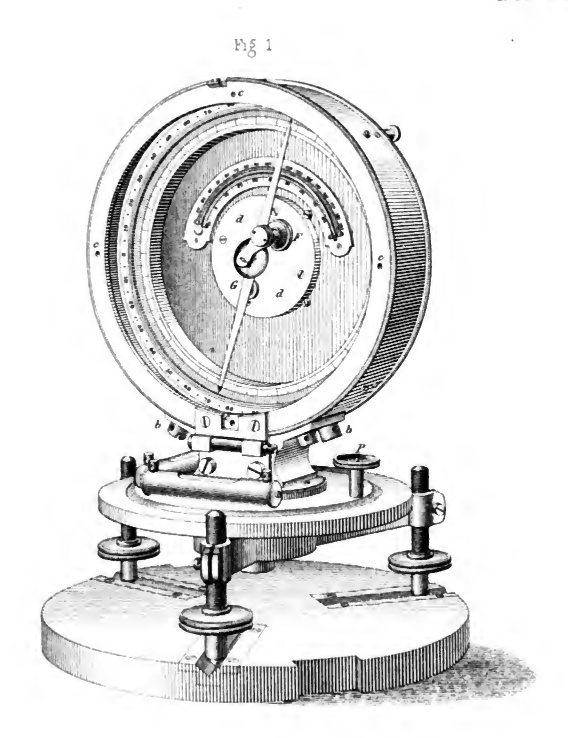
1. Ein schwerer Horizontalkreis ist mit einem auf drei Stellschrauben ruhenden Dreifuss fest verbunden. Auf demselben bewegt sich koncentrisch der Alhidadenkreis, welcher das eigentliche Inklinatorium trägt.

Der messingene Horizontalkreis ist mit einer Theilung auf halbe Grade versehen, welche in jedem Quadranten nach rechts herum bis 90° beziffert ist. Der Alhidadenkreis trägt einen Nonius, welcher Ablesung auf Minuten gestattet; diametral dem Nonius gegenüber befindet sich ein einfacher Indexstrich. Ferner trägt der Alhidadenkreis zwei Röhrenlibellen ohne Theilung zur Horizontalstellung und eine aufrecht stehende Klemmschraube *p*.

2. Das Inklinatorium besteht aus einem cylindrischen Metallgehäuse, welches auf einem fest mit dem Alhidadenkreise verbundenen Lager mit vier grossen Kopfschrauben *b b* befestigt ist.

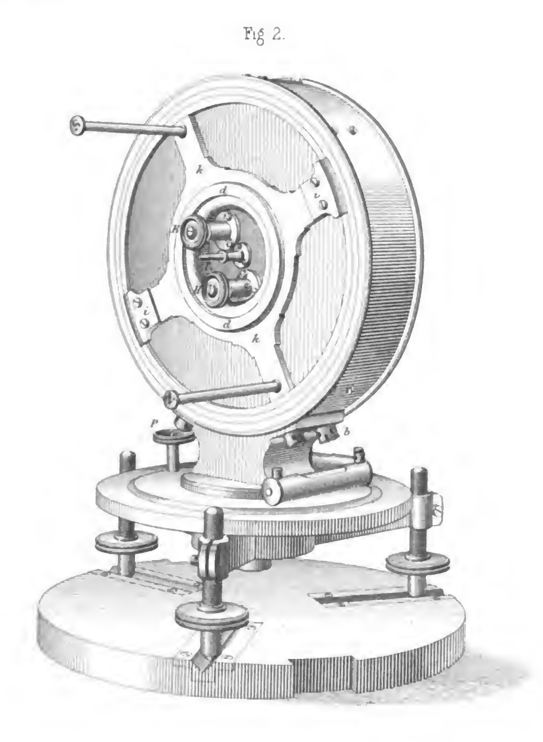
In dem Gehäuse befinden sich zwei koncentrische Theilkreise, zwischen denen die Nadel schwingt. Der äussere Kreis ist in Viertelgrade getheilt und in jedem Quadranten bis 90° derartig zusammenlaufend beziffert, dass die Vertikalstellung der Nadel oben und unten mit 90°, die Horizontalstellung zu beiden Seiten mit 0° abgelesen wird. Zur Ablesung befinden sich auf der mittelst Charnier nach unten aufzuklappenden Glasthür zwei Lupen an centrisch drehbaren Armen auf einem horizontal oder vertikal vor dem Glase zu befestigenden Metalllineal. Das Lineal ist an beiden Enden für die Ablesung der Nadelstellung mit Ausschnitten versehen. (Für die Abbildung ist dieses Lineal nebst Lupen der Deutlichkeit wegen abgeschraubt, *c c c c* [Fig. 1] sind die für das Lineal vorhandenen Schraubenlöcher.) In der Rückwand des Gehäuses befindet sich eine koncentrisch in derselben drehbare Scheibe *d d*, welche die Vorrichtungen zur Aufhängung der Nadel trägt. Diese Aufhängungseinrichtung ist dem Foxschen Instrument eigenthümlich. Sie besteht aus zwei Steinlagern, welche eine gemeinschaftliche Horizontalaxe haben und zum Ein-

Fig 1



ıe Apparat.

Fig 2.



legen der Nadel aus einander geschraubt werden können. Das eine Lager ist centrisch in die Drehscheibe eingesetzt, das ihm gegenüberstehende Lager wird von einem Arm *F* (Fig. 1) getragen, welcher excentrisch auf der Drehscheibe befestigt ist und vermittelst einer Schraube *E* (Fig. 2) verkürzt oder verlängert werden kann. Die Horizontalaxe der Inklinationsnadel verjüngt sich an beiden Enden konisch zu zwei ganz feinen Cylindern, welche in den beiden Steinlagern ruhen, sobald der Arm mit dem äusseren Lager ganz an die Drehscheibe herangeschraubt ist.

Auf derselben Scheibe befindet sich noch eine Arretirvorrichtung *G* (Fig. 1), ebenfalls durch Schraube *H* (Fig. 2) auf der Rückseite zu bewegen, welche dazu dient, die in den Lagern ruhende Nadel in einer gewissen Richtung festzuhalten. (Fig. 1 zeigt die Nadel arretirt.)

Ein zwischen beiden Schraubenköpfen auf der Rückseite der Drehscheibe hervorragender Dorn *I* (Fig. 2) hat den Zweck, bei der Einstellung der Nadel schwache Erschütterungen ihrer Lager hervorzubringen, um die kleinen Reibungswiderstände, welche bei dem Aufhängungssystem unvermeidlich sind, unschädlich zu machen.

Der erwähnte Dorn wird zu dem Ende mit einer hierfür beigegebenen gereifelten Elfenbeinplatte vor jeder Ablesung gerieben. Durch die Einrichtung der drehbaren Scheibe ist erreicht, dass die Nadel in jeder Richtung unbehindert von dem Arm, welcher das vordere Lager trägt, eingestellt und auch festgesetzt werden kann.

3. Die Deflektoren. Auf der Rückseite des Instruments (Fig. 2) befindet sich ein Theilkreis auf Silber und ein koncentrisch mit der eben beschriebenen Scheibe drehbarer Alhidadenkreis *k k*, dessen beide Nonien *i i* Minutenablesung gestatten. 90° von den Nullpunkten dieser Nonien sind Schraubenlöcher vorhanden zur Aufnahme von senkrecht zum Theilkreise gerichteten Ablenkungsmagneten *N S* in Metallhülsen (Deflektoren). Die Bezifferung des Kreises ist so angeordnet, dass die Noniusablesung den Stand der Deflektoren übereinstimmend mit der Nadelablesung im Gehäuse angiebt.

Die Deflektoren bestehen aus Stahlcylindern in Messinghülsen, aus denen sie auch, wenn letztere am Instrument festgeschraubt sind, leicht herausgeschoben werden können. Der auf dem Kopf mit *N* bezeichnete Deflektor zieht das Nordende, der mit *S* bezeichnete das Südende der Nadel an.

4. Die Nadel, von der gewöhnlichen Form der Inklinationsnadeln, trägt eine kleine Metallscheibe mit ausgekehltem Rande, fest mit der Axe verbunden. Ueber den ausgekehlten Rand wird zum Zweck von Intensitätsbeobachtungen ein kurzer Seidenfaden gelegt, welcher an beiden Enden Häkchen zur Aufhängung von Gewichten hat. Ein Satz kleiner Gewichte in Form von Drahtschleifen von 0,0125 bis 1 grain ist dem Instrument in einem Messingkästchen beigegeben.

Zu jedem Instrument gehören zwei Nadeln, welche sich zur Aufbewahrung in Messinghülsen befinden. Diese Hülsen sind so eingerichtet, dass die darin liegenden Nadeln als Deflektoren mit den Hülsen auf der Rückseite des Instruments eingeschraubt werden können.

Aufstellung und Orientirung des Apparates.

Der ganze Apparat wird an Land auf einem festen Stativ gleich dem eines Theodoliten, an Bord auf einer in kardanischen Ringen schwingenden Platte aufgestellt, deren Schwerpunkt durch ein am Ende einer vertikalen Metallstange aufgestreiftes Gewicht beträchtlich versenkt ist.

Ein Tisch auf vier Metallfüssen trägt die Aufhängung der Platte und kann mit Glasglocke und darüber befindlicher Drahtkappe versehen werden, so dass das Instrument, auch wenn ausser Gebrauch, an seinem Ort verbleibt.

Bei der Aufstellung des Apparates wird die Platte in kardanischer Aufhängung von vornherein so orientirt, dass, wenn der Apparat mit seinen Fussschrauben in die dazu vorgesehenen Spuren gestellt wird, die Nullstriche des Horizontalkreises in die Längsschiffslinie fallen.

Für die Beobachtung ist es dann nur nöthig, am Horizontalkreise den Kurs einzustellen, welchen das Schiff anliegt. Alles dieses ist sogleich geläufig, wenn man sich vorher mit dem Deviationsmagnetometer vertraut gemacht hat. Dabei ist noch hervorzuheben, dass die Beobachtung von Schwingungen und Ablenkungen am Deviationsmagnetometer ungleich schwieriger ist als die gewöhnlichen Beobachtungen am Foxschen Apparat, insofern als Erschütterungen und schlängernde Bewegungen des Schiffes die letzteren nicht so störend beeinflussen. Man kann daher unter Segel bei ziemlich rauhem Wetter die Beobachtungen am Foxschen Apparat noch durchführen (abgesehen von Intensitätsbeobachtungen mit Gewichten, wobei ein Oeffnen des Inklinatoriums erforderlich wird).

Der Aufstellungsort an Bord wird in der Regel so gewählt, dass der Foxsche Apparat dem Regelkompass sehr nahe steht, um nöthigenfalls die für den letzteren bestimmten magnetischen Konstanten auch auf den Ort des Foxschen Apparates anwenden zu können.

Bei der ausgedehnten Verwendung von Eisenkonstruktionen kann man indessen in der Regel nicht mehr darauf rechnen, dass beide Orte gleich magnetisch beeinflusst sind, und muss stets den Ort des Foxschen Apparates gesondert in derselben Weise auf seine magnetischen Eigenschaften untersuchen, wie den Ort für die Aufstellung eines Regelkompasses. Ist daher der Regelkompass nicht günstig placirt, so wird man auf die unmittelbare Nachbarschaft desselben bei Aufstellung des Foxschen Apparates weniger Gewicht legen.

Die Ermittelung der magnetischen Konstanten des Aufstellungsortes erfolgt in der Weise, dass man einen Normalkompass an dem Ort des

Foxschen Apparates einhängt. Zweckmässig ist, die kardanische Aufhängung für diese Umwechselung von vornherein einzurichten. Zunächst wird die genaue Deviation bestimmt, und zwar gleichzeitig für diesen Normalkompass und den Schiffsregelkompass auf 16 Strichen durch komplettes Schwingen des Schiffs. Damit zu verbinden oder aber getrennt anzuschliessen, ist eine Bestimmung der Horizontal- und Vertikalkraft mit Hülfe des Deviationsmagnetometers auf acht Hauptstrichen (Kompassstrichen). Sollte die Beobachtung durch ungünstige Umstände erschwert werden, so ist zu beachten, dass Beobachtungen auf den vier Interkardinalstrichen in erster Linie erforderlich sind.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich alle Korrektionen ableiten, welche an den Beobachtungen des Foxschen Apparates für den Einfluss des Eisens im Schiff angebracht werden müssen. Es ist indessen durchaus erforderlich, zur Kontrole auch Beobachtungen mit dem Apparat selbst auf acht Hauptstrichen anzustellen, und zwar Beobachtungen der Inklination und Ablenkungsbeobachtungen. Aus diesen Beobachtungen stellt man eine Deviationstabelle für Inklination und eine Deviationstabelle für Intensität zusammen und berechnet daraus die magnetischen Konstanten des Beobachtungsortes nach den weiter unten folgenden Vorschriften.

Diese ausführlichen Beobachtungen für Feststellung der Korrektionen müssen an verschiedenen Orten während der Reise wiederholt werden, und zwar sobald die magnetische Inklination sich um 30° bis 40° geändert hat, gleichzeitig mit absoluten magnetischen Bestimmungen am Lande. Ist man auf absolute magnetische Beobachtungen fester Observatorien angewiesen, so ist es nöthig, während der Reise solche Hafenorte anzulaufen, bei welchen dergleichen Beobachtungsstationen sich befinden. Bei der Rückkehr zu der Abgangsstation sind die Beobachtungen unbedingt ausführlich zu wiederholen.

In Folgendem wird die Anwendung des Instruments und die Reduktion der mit demselben gewonnenen Beobachtungen durch Vorführung eines Beispiels erläutert werden, welches den Beobachtungen S. M. S. Gazelle entnommen ist. Das hier gezeigte Reduktionsverfahren ist vom Observatorium zu Wilhelmshaven festgestellt worden.

Beispiel für die Anwendung des Foxschen Apparates.

I. Die Beobachtungen.

Allgemeine Bemerkung. Die Beobachtungen sind stets in verschiedenen Stellungen des drehbaren Arms, an welchem die Zapfenlager für die Nadel sich befinden, und unter steter sanfter Reibung mit der gerippten Elfenbeinscheibe an dem Dorn an der Rückseite des Instruments anzustellen.

a. Bestimmung der Richtung des magnetischen Meridians.

Das Instrument wird mit Kreis Nord so gestellt, dass die Inklinationsnadel genau senkrecht steht, der Horizontalkreis abgelesen und dieselbe Beobachtung mit Kreis Süd wiederholt, dann giebt das Mittel aus beiden Ablesungen die Richtung des magnetischen Meridians auf dem Kreise, wenn derselbe von 0° bis 360° durchgetheilt ist.

Die Eintheilung des Horizontalkreises ist aber bei dem oben beschriebenen englischen Instrument in jedem Quadranten für sich von 0° bis 90° beziffert (immer nach derselben Richtung, so dass die Ablesung 90° für den einen Quadranten zugleich 0° für den nächstfolgenden ist), so dass man für Einstellungen, die 90° oder 180° von einander entfernt sind, immer dieselben Ablesungen erhält. Man hat also, um das Instrument in den magnetischen Meridian zu bringen, dasselbe um 90° zu drehen und dieselbe Einstellung in dem betreffenden Quadranten zu machen, welche man vorher bei senkrechter Stellung der Nadel gefunden hat.

Beispiel:

Nadel vertikal:	Kreis Süd:	26° 40′, 27° 11′, 26° 49′, 26° 36′	Mittel: 26° 49′
	„ Nord:	26° 44′, 26° 20′, 26° 40′, 26° 27′	„ 26° 33′

also nach Drehung um 90° Einstellung des magnetischen Meridians = 26° 41′.

b. Bestimmung der Inklination.

α. Inklination direkt.

Beispiel:

23. September 1874 auf 34° 52,8′ S-Br. 5° 8,2′ O-Lg. Kurs OSO — Nadel B.

Kreis Ost:	— 52° 18′, 22′, 42′, 25′	Mittel = — 52° 26,8′
„ West:	— 51° 5′, 8′, 22′, 30′	„ = — 51° 16,2′
		Mittel = — 51° 51,5.

β. Inklination mit Deflektor.

Je nachdem es nöthig erscheint, wird einer oder beide Deflektoren so in den auf der Rückseite des Instruments befindlichen Arm eingeschraubt, dass das nächste Ende der Nadel abgestossen wird. Dann wird der Arm auf dem Kreise an der Rückseite um einen bestimmten Winkel (30°) auf der einen Seite von der Ablesung für Neigung entfernt eingestellt, welche bei der betreffenden Kreislage stattfindet, und die Stellung der Nadel beobachtet, dann der Deflektor um den gleichen Winkel auf die andere Seite der Neigungslinie gebracht und wieder die Stellung der Nadel beobachtet. Für unser Beispiel sind die Einstellungen des Deflektors bei Kreis Ost: — 22° 27′ und — 82° 27′ und bei Kreis West: — 21° 16′ und 81° 16′. Die Stellung der Nadel wurde abgelesen:

			Deflektor bei
Kreis Ost:	— 81° 45′, 55′, 60′, 72′	Mittel = — 81° 58,0′	— 22° 27′
	— 22° 60′, 38′, 30′, 30′	„ = — 22° 39,5′	— 82° 27′
Kreis West:	— 81° 15′, 15′, 0′, 0′	Mittel = — 81° 7,5′	— 21° 16′
	— 21° 23′, 22′, 30′, 30′	„ = — 21° 26,2′	— 81° 16′

Die ähnlichen Ablesungen Kreis Ost und West zusammengefasst erhalten wir:

durch Deflektor:	— 81° 32,8′
	— 22° 2,8′
direkt:	— 51° 51,5′
3)	— 155° 27,1′
verbesserte Inklination:	— 51° 49,0′

Bemerkung. Bei den englischen Instrumenten pflegt der horizontale Durchmesser des Inklinationskreises mit 0 — 0, der vertikale mit 90 — 90 bezeichnet zu sein, d. h. die Theilung geht von dem Horizontaldurchmesser aus beiderseits von 0° — 90° (vergl. Tafel XXII). Man muss daher bei den Ablesungen der aus ihrer natürlichen Lage abgelenkten Nadel sehr darauf achten, ob dieselbe durch die Vertikale oder durch die Horizontale auf die andere Seite dieser Linien abgelenkt wird. Man unterscheidet diese Ablesungen durch die Worte: „nach der {Vertikalen / Horizontalen}", wenn die Nadel in demselben Quadranten bleibt, in welchem sie sich im ungestörten Zustande befindet, und „durch die {Vertikale / Horizontale}", wenn sie in den benachbarten Quadranten übergeht.

Man könnte die Unterscheidung auch dadurch machen, dass man je zwei diametral gegenüberliegenden Quadranten dasselbe Vorzeichen giebt, derart, dass man stets den Quadranten, in welchem sich die ungestörte Nadel befindet, das Vorzeichen der Inklination ertheilt (also in der nördlichen Hemisphäre das positive, in der südlichen das negative). In den Fällen, wo die abgelenkte Nadel in demselben Quadranten bleibt wie die Inklination, haben alle Ablesungen dasselbe Vorzeichen wie diese, geht sie in einen andern Quadranten über, so haben sie das entgegengesetzte Vorzeichen, und man hat dann für die Ablesungen, bei denen die Nadel durch die Vertikale gegangen ist, die Ergänzung zu 180° mit dem Vorzeichen der Inklination zu nehmen.

c. Beobachtung der Ablenkungswinkel zur Bestimmung der Intensität.

α. Durch Gewichte.

Es wird ein bestimmtes Gewicht und zwar immer dasselbe an einem feinen Kokonfaden in die Nuthe des an der Nadel befestigten Rades eingehängt und die dadurch abgelenkte Stellung der Nadel abgelesen, darauf das Gewicht auf die andere Seite des Fadens gebracht und wieder die nun nach der anderen Seite abgelenkte Stellung der Nadel notirt. Die halbe Differenz der Ablesungen giebt den Ablenkungswinkel. Es muss mit demselben Gewicht auch an einer Basisstation beobachtet worden sein. Die Temperatur ist jedesmal zu notiren.

Beispiel.

1. Basisstation Kiel. 20. Juni 1874. Gewicht 2 grain engl. Nadel B.

Kreis Ost:	— 78° 70′, 60′, 60′, 60′, 60′, 60′, 55′, 55′	Mittel	= — 79° 0,0′
	+ 36° 10′, 10′, 5′, 0′, 0′, 5′, 10′, 10′	„	= + 36° 6,3′
Kreis West:	— 76° 55′, 45′, 50′, 50′, 45′, 45′, 45′, 45′	Mittel	= — 76° 47,5′
	+ 37° 15′, 10′, 10′, 10′, 5′, 5′, 7′, 10′	„	= + 37° 9.0′.

Hieraus:

	Kreis Ost:	Kreis West:
	+ 101° 0,0′	+ 103° 12,5′
	+ 36° 6,3′	+ 37° 9.0′
	64° 53,7′	66° 3,5′
Ablenkungswinkel =	32° 26,8′	33° 1,8′
Mittel =	32° 44,3′ Temp. 57,0° F.	

2. 30. Oktober 1884. Kerguelen I. Betsy Cove. 49° 8,5′ S-Br, 70° 11′ O-Lg. An Land. Nadel B. 2 grain engl.

Kreis Ost:	+ 78° 5′, 5′, 10′, 10′, 15′, 15′, 0′, 0′	Mittel	= + 78° 7.5′
	— 39° 40′, 40′, 35′, 35′, 30′, 30′, 25′, 20′	„	= — 39° 31,9′
Kreis West:	+ 77° 25′, 20′, 35′, 35′, 30′, 30′, 15′, 10′	Mittel	= + 77° 25,0′
	— 40° 10′, 10′, 5′, 10′, 15′, 20′, 5′, 10′	„	= — 40° 10,6′.

Hieraus:

	Kreis Ost:	Kreis West:
	— 101° 52,5′	— 102° 35,0′
	— 39° 31,9′	— 40° 10,6′
	62° 20,6′	62° 24,4′
Ablenkungswinkel =	31° 10,3′	31° 12,2,
Mittel =	31° 11,3′ Temp. 52,8° F.	

β. Durch Deflektoren.

Einer oder besser beide Deflektoren werden in den dazu bestimmten entsprechend bezeichneten Armen auf der Rückseite des Instruments angeschraubt und so adjustirt, dass ihre Verbindungslinie in die Richtung der Inklinationsnadel fällt, zu welchem Zweck mit Hülfe des Nonius am Kreise auf der Rückseite des Instruments die Inklination eingestellt wird und dann der Winkel, um welchen die Nadel durch die Deflektoren abgelenkt wird, bestimmt, indem man einmal die Stellung der Nadel auf der einen und dann auf der anderen Seite der Inklinationsrichtung beobachtet, wobei man die Nadel mit Hülfe des Arms, in dem die Zapfenlager sitzen, an den Deflektoren vorüber führt (die Deflektoren bleiben unverrückt auf die Inklination adjustirt). Die halbe Differenz der Ablesungen giebt den Ablenkungswinkel.

Beispiel.

1. Basisstation Kiel. 20. Juni 1874. Beide Deflektoren eingestellt auf Neigung, Nadel B. — An Land.

Kreis Ost:	— 56° 60′, 60′, 50′, 45′, 45′, 45′, 50′, 45′	Mittel	= — 56° 50,0′
	+ 13° 50′, 45′, 45′, 45′, 45′, 40′, 50′, 40′	„	= + 13° 45,0′
Kreis West:	— 56° 45′, 35′, 36′, 30′, 40′, 35′, 45′, 40′	Mittel	= — 56° 38,2′
	+ 13° 45′, 45′, 50′, 45′, 50′, 45′, 50′, 50′	„	= — 13° 47,5′.

Hieraus:

Kreis Ost:	+ 123° 10,0′	Kreis West:	+ 123° 21,8′
	+ 13° 45,0′		+ 13°.47,5′
	109° 25,0′		109° 34,3,
Ablenkungswinkel =	54° 42,5′		54° 47,1′
Mittel =	54° 44,8′	Temp. 68,0° F.	

2. 23. September 1874. 34° 52,8′ S-Br, 5° 8,2′ O-Lg. Kurs OSO. Nadel B. Beide Deflektoren eingestellt auf Neigung.

Kreis Ost:	+ 12° 30′, 30′, 30′, 15′, 20′, 20′, 30′, 30′	Mittel	= + 12° 25,6′
	+ 62° 45′, 45′, 60′, 60′, 60′, 70′, 70′, 60′	„	= + 62° 58,8′
Kreis West:	+ 13° 20′, 20′, 15′, 20′, 15′, 20′, 30′, 30′	Mittel	= + 13° 21,2′
	+ 64° 20′, 20′, 20′, 20′, 15′, 15′, 20′, 15′	„	= + 64° 18,1′

Hier tritt der Fall ein, dass die abgelenkte Nadel sowohl durch die Horizontale als auch durch die Vertikale geht. Letztere Ablesung ist in solchen Fällen immer daran kenntlich, dass sie näher an 90° liegt wie erstere.

Hieraus:

Kreis Ost:	+ 12° 25,6′	Kreis West:	+ 13° 21,2′
	— 117° 1,2′		— 115° 41,9′
	129° 26,8′		129° 3,1′
Ablenkungswinkel =	64° 43,4′		64° 31,6′
Mittel =	64° 37,5′	Temp. 64,5° F.	

II. Bestimmung der Reduktionskonstanten.

Vorbemerkung. Da einige der Koëfficienten der Reduktionsformeln mit der Aenderung der Werthe der magnetischen Elemente veränderlich sind, so lassen sich definitive Reduktionskonstanten erst nach Abschluss der Reise ableiten, wenn die bezüglichen Beobachtungen von einer Anzahl Orte und wenigstens an einem Orte, am besten dem Ausgangspunkte, solche zu verschiedenen Zeiten vorliegen. Näherungswerthe, mit welchen man vorläufige Reduktionen machen kann, kann man natürlich auch während der Reise sich successive ableiten. Es würde zu weit führen, hier alle zur definitiven Ableitung der Konstanten angestellten Beobachtungen auf der Gazelle anzuführen, das Folgende beschränkt sich daher darauf, nur Proben derselben zu geben.

Die Korrektionen, welche an den Beobachtungen anzubringen sind, bezw. die Konstanten, welche für die Berechnung der Werthe der magnetischen Elemente aus den Beobachtungen erforderlich werden, sind folgende:

1. Inklination:
   a) Indexfehler,
   b) Korrektion wegen Einflusses des Eisens an Bord des Schiffes.

2. Intensität:
   a) Tabelle der Aequivalentgewichte,
   b) Korrektion wegen des Einflusses des Schiffseisens,
   c) Korrektion wegen Temperatur,
   d) Korrektion wegen Aenderung des magnetischen Moments der Nadel oder der Deflektoren mit der Zeit.

1. Inklination.

a) Indexfehler.

Der Indexfehler hat dreierlei Ursache: 1. die Abweichung der 90° Linie der Kreistheilung von der Vertikalen, 2. die Abweichung des Schwerpunkts der Nadel von ihrer Drehungsaxe und 3. die Abweichung der magnetischen von der geometrischen Axe der Nadel. Die erste Ursache wird dadurch eliminirt, dass man die Beobachtungen stets bei Kreis Ost und Kreis West anstellt; der Indexfehler aus der zweiten Ursache ist mit der Inklination veränderlich und hat die Form:

$$\triangle_1 \Theta = C \cos(\Theta + \alpha), \text{ so dass } \Theta = \Theta' + \triangle_1 \Theta$$

wenn C eine Konstante, Θ die wahre, Θ' die beobachtete Inklination und α den Winkel bedeutet, welchen die Verbindungslinie der Drehungsaxe und des Schwerpunkts mit der magnetischen Axe der Nadel bildet; dieser Winkel wird von dem Nordende der magnetischen Axe der Nadel aus durch den Nadir von 0° bis 360° herum gezählt. Zu seiner Bestimmung muss die mit dem Foxschen Apparat an Land bestimmte Inklination an mindestens zwei Orten mit der an denselben Punkten auf gewöhnliche Weise (durch Ummagnetisiren der Nadel oder auf andere Weise) absolut bestimmten Inklination verglichen werden.

Bemerkung. Die absoluten Beobachtungen dürfen aber niemals mit den zum Foxschen Apparat gehörigen Nadeln gemacht werden, weil dieselben nicht ummagnetisirt werden dürfen.

Beispiel.

Es wurde während der Gazelle-Expedition beobachtet an Land mit Nadel B.

in Kiel:	1874	Fox	+ 68° 34,0′	wahre	Inklination	+ 68° 17,4′
	1876	„	+ 68° 34,3′	„	„	+ 68° 13,6′
in Capstadt:	1874	„	— 56° 21,5′	„	„	— 56° 0,0′
in Mauritius:	1874	„	— 56° 29,0′	„	„	— 56° 19,6′

Diese paarweise zusammengefasst geben:

$$C \cos(\Theta_1 + \alpha) = a = -18{,}65' \qquad \Theta_1 = +68° \; 15{,}5'$$
$$C \cos(\Theta_2 + \alpha) = b = +15{,}45' \qquad \Theta_2 = -56° \; 9{,}8'$$

woraus:

$$C \sin \alpha = \frac{a \sec \Theta_1 - b \sec \Theta_2}{\operatorname{tg} \Theta_2 - \operatorname{tg} \Theta_1}$$
$$C \cos \alpha = \frac{a \sec \Theta_1 \operatorname{tg} \Theta_2 - b \sec \Theta_2 \operatorname{tg} \Theta_1}{\operatorname{tg} \Theta_2 - \operatorname{tg} \Theta_1}$$

und $C = -19{,}57'$ und $\alpha = 274° \; 3'$.

Hiermit ist eine Tabelle zu berechnen, welche für alle Werthe von Θ die Korrektion $\triangle_1 \Theta$ giebt. Hat man an mehr als zwei Orten Vergleichungen zwischen der wahren und der durch den Foxschen Apparat gefundenen Inklination, so sind für C und α durch die Methode der kleinsten Quadrate die wahrscheinlichsten Werthe abzuleiten. Der aus der dritten Ursache entspringende Theil des Indexfehlers ist konstant und lässt sich, nachdem man den veränderlichen Theil (Ursache 2) bestimmt hat, durch Umlegen der Nadel ermitteln, derart, dass einmal das Rädchen dem Beobachter zugewendet, das andere Mal von demselben abgewendet ist.

Am besten vereinigt man aber die Theile 2 und 3 und setzt:

$$\triangle_1 \Theta = c + C \cos(\Theta + \alpha).$$

Man bedarf dann zur Bestimmung von c, C und α Beobachtungen an mindestens drei Stationen, für welche absolute Bestimmungen der Inklination vorhanden sind. Da dies bei der Gazelle nicht der Fall war, weil die Inklination an den beiden Südstationen nahe gleich ist, so wurde $c = o$ gesetzt, was auch jedenfalls sehr nahe richtig und in weitaus der Mehrzahl der Fälle erlaubt sein wird.

b) Korrektion wegen Einflusses des Schiffseisens.

Es ist am bequemsten, diese Korrektion auf dieselbe Form zu bringen, wie die Deviation des Kompasses, eine Form, welche allerdings nur für geringe Beträge der Korrektion zulässig ist. Bei sehr grossen Deviationen und in sehr hohen magnetischen Breiten kann es nothwendig werden, die strengen Ausdrücke zu gebrauchen, da aber diese Fälle nur selten sind, so bezieht sich das Folgende allein auf den Fall kleiner Korrektionen. Dann wird die „Deviation in Inklination" oder die Korrektion, welche an der auf dem magnetischen Kurse ζ beobachteten Inklination Θ' angebracht werden muss:

$$\triangle_2 \Theta = A_1 + B_1 \cos\zeta + C_1 \sin\zeta + D_1 \cos 2\zeta + E_1 \sin 2\zeta$$

und die wahre Inklination

$$\Theta = \Theta_1 + \triangle_1 \Theta + \triangle_2 \Theta.$$

Die Koëfficienten A_1 B_1 ... haben folgende theoretische Bedeutung:*)

$$A_1 = \frac{3438}{2}\left\{\lambda - \left(k + 1 + \frac{R}{Z}\right)\right\} \sin 2\Theta = \frac{3438}{2}(\lambda - \mu) \sin 2\Theta$$

$$B_1 = \frac{3438}{2}\left\{\lambda\mathfrak{B} - g \cot\Theta\right\} \sin 2\Theta = \frac{3438}{2}\left\{c - g - (c + g)\cos 2\Theta + \frac{P}{H}\sin 2\Theta\right\}$$

$$C_1 = \frac{3438}{2}\left\{-\lambda\mathfrak{C} + h \cot\Theta\right\} \sin 2\Theta = \frac{3438}{2}\left\{h - f + (h + f)\cos 2\Theta - \frac{Q}{H}\sin 2\Theta\right\}$$

$$D_1 = \frac{3438}{2}\lambda\mathfrak{D} \sin 2\Theta$$

$$E_1 = -\frac{3438}{2}\lambda\mathfrak{E} \sin 2\Theta.$$

Die Buchstaben rechts haben die Bedeutung, welche denselben im „Admiralty manual for the deviation of the compass" beigelegt wird. (Siehe

*) Durch die Multiplikation mit $3438 = 57{,}3 \cdot 60$ sind die Koëfficienten in Bogenminuten ausgedrückt.

auch § 112, 113.) Aus diesen Ausdrücken ist ersichtlich, dass man alle zur Ableitung der Korrektionsformel nöthigen Grössen durch vollständige Deviationsbestimmungen des Kompasses (d. h. einschliesslich Beobachtung der Horizontal- und Vertikalkraft auf mindestens den vier Interkardinalkursen) an zwei oder mehreren Orten erhalten kann. Zur Kontrole wie auch zur selbstständigen Ableitung der Grössen λ, μ, g und h neben der aus den Beobachtungen der Horizontal- und Vertikalkraft ist es immer nothwendig, mindestens auf den acht Hauptkursen vollständige Beobachtungen der Inklination und Intensität mit dem Foxschen Apparat anzustellen. Daneben sind die Grössen c, P sowie f, Q durch Deviationsbestimmungen, k, R durch Beobachtung der Vertikalkraft an zwei oder mehreren Orten, deren magnetischer Charakter möglichst verschieden ist, zu ermitteln. — Weiteres und Beispiel siehe unter Intensität b.

2. Intensität.

a) Tabelle der Aequivalentgewichte.

Werden die Deflektoren gebraucht, so muss man sich eine Tabelle der sogenannten Aequivalentgewichte bilden, d. h. derjenigen Gewichte, welche, an dem an der Nadel befindlichen Rade angreifend, ein ebenso grosses Drehungsmoment hervorbringen, wie das von den Deflektoren bei einer bestimmten Entfernung (welche durch den Winkel ausgedrückt wird, den die Verbindungslinie der Deflektoren mit der Richtung der Nadel einschliesst) auf diese ausgeübte magnetische Moment.

Die Bildung dieser Tabelle geschieht am besten auf folgende Weise: Das Instrument wird mit Kreis Nord oder Süd so gestellt, dass die Nadel im ungestörten Zustande senkrecht steht. Dann wird der Arm mit den Deflektoren so eingestellt, dass die Verbindungslinie derselben einen bestimmten Winkel (entweder den kleinsten oder grössten zu erwartenden Ablenkungswinkel) mit der Vertikalen bildet, hierauf wird die hierdurch abgelenkte Nadel durch Anhängung von Gewichten wieder in die senkrechte Lage zurückgebracht. Es repräsentiren daher die angehängten Gewichte eine Kraft, die der von den Deflektoren auf die Nadel bei der gegebenen Stellung ausgeübten Abstossung äquivalent ist, oder das sogenannte Aequivalentgewicht. Darauf werden die Deflektoren um einen Grad verschoben und wieder das Aequivalentgewicht bestimmt u. s. f. Im Falle der Gazelle, wo mit dem Ablenkungswinkel von 40° angefangen und mit 75° aufgehört wurde, wurden also die Nonien des Deflektorenkreises successive auf 50°, 49°, 48° ..... 15° eingestellt und jedesmal die Aequivalentgewichte ermittelt.

Diese Tabelle wird am besten an der Basisstation vor der Ausreise angefertigt, kann aber auch an einem beliebigen Orte gemacht werden. Auf der Gazelle wurden diese Beobachtungen auf Kerguelen gemacht und ergaben folgendes Resultat.

Die beobachteten Zahlen wurden auf karrirtem Papier aufgetragen und durch die Beobachtungen eine ausgleichende Kurve gelegt, deren

Ergebnisse neben den Beobachtungen in der nachstehenden Tabelle enthalten sind:

Ablenkungswinkel	Aequivalentgewicht		Ablenkungswinkel	Aequivalentgewicht		Ablenkungswinkel	Aequivalentgewicht	
	Beob. grain	Kurve grain		Beob. grain	Kurve grain		Beob. grain	Kurve grain
40°	3,8125	3,794	52°	2,9375	2,935	64°	2,2750	2,280
41	3,7000	3,707	53	2,8875	2,876	65	2,2125	2,235
42	3,6125	3,628	54	2,8250	2,816	66	2,2000	2,197
43	3,5375	3,550	55	2,7750	2,758	67	2,1750	2,165
44	3,4750	3,472	56	2,7250	2,700	68	2,1500	2,134
45	3,4125	3,398	57	2,6500	2,645	69	2,1125	2,108
46	3,3375	3,328	58	2,6000	2,590	70	2,0875	2,086
47	3,2750	3,260	59	2,5375	2,535	71	2,0625	2,064
48	3,1875	3,190	60	2,4750	2,480	72	2,0375	2,043
49	3,1250	3,120	61	2,4125	2,428	73	2,0125	2,023
50	3,0500	3,058	62	2,3625	2,376	74	2,0000	2,005
51	2,9875	2,995	63	2,3125	2,326	75	2,0000	1,995

b) Korrektion für den Einfluss des Schiffseisens.

Die „Deviation in Intensität" hat die Form:

$$\frac{dJ}{J} = \mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \mathfrak{C}_2 \sin\zeta + \mathfrak{D}_2 \cos 2\zeta + \mathfrak{E}_2 \sin 2\zeta$$

und es ist:

$$J = J' + dJ$$
$$= J'\left(1 + \frac{dJ}{J'}\right).$$

Die obige Formel giebt nun aber nicht $\frac{dJ}{J'}$ sondern $\frac{dJ}{J}$. Man erhält:

$$\frac{dJ}{J'} = \frac{dJ}{J} + \left(\frac{dJ}{J}\right)^2$$

so dass:

$$J = J'\left\{1 + \frac{dJ}{J} + \left(\frac{dJ}{J}\right)^2\right\}.$$

Die Koëfficienten haben folgende Bedeutung:

$$\mathfrak{A}_2 = \tfrac{1}{2}\left\{1-\lambda-\left(k+\frac{R}{Z}\right)\right\} - \tfrac{1}{2}\left\{\lambda-\left(k+1+\frac{R}{Z}\right)\right\}\cos 2\theta = \tfrac{1}{2}\left\{2-(\lambda+\mu)\right\} - \tfrac{1}{2}(\lambda-\mu)\cos 2\theta$$

$$\mathfrak{B}_2 = -\lambda\mathfrak{B}\cos\theta^2 - \tfrac{1}{2}g\sin 2\theta \qquad = -\tfrac{1}{2}(c+g)\sin 2\theta - \frac{P}{H}\cos\theta^2$$

$$\mathfrak{C}_2 = \lambda\mathfrak{C}\cos\theta^2 + \tfrac{1}{2}h\sin 2\theta \qquad = \tfrac{1}{2}(h+f)\sin 2\theta + \frac{Q}{H}\cos\theta^2$$

$$\mathfrak{D}_2 = -\lambda\mathfrak{D}\cos\theta^2$$
$$\mathfrak{E}_2 = \lambda\mathfrak{E}\cos\theta^2$$

Aus den an einem Orte für $\mathfrak{A}_1 = \frac{A_1}{3438}$ und $\mathfrak{A}_2$ gefundenen Werthen sind μ und λ, ebenso aus $\mathfrak{B}_1$ und $\mathfrak{B}_2$ die Werthe von $\lambda\mathfrak{B}$ und g und

analog die für $\lambda\mathfrak{C}$, h, $\lambda\mathfrak{D}$ und $\lambda\mathfrak{E}$ abzuleiten, welche mit den durch die Deviationsbestimmung direkt gefundenen Werthen nahe übereinstimmen sollten und mit diesen zu Mitteln vereinigt werden müssen.

Bei der Ableitung der Koëfficienten $\mathfrak{A}_2$, $\mathfrak{B}_2$ u. s. w. aus Beobachtungen der Intensität auf verschiedenen Kursen ist die Intensität an Land = 1 zu setzen.

Beispiel.

Am 2. Mai 1876 wurden in Kiel folgende Beobachtungen gemacht:

An Land: Inklination mit Fox-Apparat = + 68° 34.3′
Intensität: Ablenkungswinkel = 49° 42,0′
Aequivalentgewicht = 3,077
J = 1,000

Inklination.		Intensität.			
Kurs	Deviation	Ablenkungs-winkel	Aequiv.-gewicht	J'	Deviation
N + 66° 5,0′	+ 2° 29,3′	49° 25,8′	3,093	1,0092	− 0,0092
NO + 66° 45,5′	+ 1° 48,8′	49° 38,8′	3,080	1,0018	− 0,0018
O + 68° 3,5′	+ 0° 30,8′	50° 1,2′	3,057	0,9888	+ 0,0112
SO + 69° 13,5′	− 0° 41,2′	50° 21,2′	3,036	0,9773	+ 0,0227
S + 70° 5,6′	− 1° 31,3′	50° 28,4′	3,029	0,9734	+ 0,0266
SW + 70° 18,6′	− 1° 44,3′	50° 29,0′	3,028	0,9729	+ 0,0271
W + 69° 30,9′	− 0° 56,6′	50° 13,9′	3,044	0,9816	+ 0,0184
NW + 67° 22,2′	+ 1° 12,1′	49° 44,2′	3,074	0,9985	+ 0,0015

Aus diesen Zahlen werden nun die Koëfficienten in derselben Weise abgeleitet, wie dies für die Deviation des Kompasses geschieht, nur ist darauf zu achten, dass B_1 $\mathfrak{B}_2$ und C_1 $\mathfrak{C}_2$ resp. mit dem cosinus und sinus des Kurswinkels multiplicirt sind, also so behandelt werden müssen, wie bezw. B und C der Deviation des Kompasses; dasselbe gilt von D_1 $\mathfrak{D}_2$ und E_1 $\mathfrak{E}_2$ mit Bezug auf E und D der Kompassdeviation.

Man erhält:

Inklination.		Intensität.
$A_1 = + 0° \ 8{,}4'$	$\mathfrak{A}_1 = + 0{,}0024$	$\mathfrak{A}_2 = + 0{,}0121$
$B_1 = + 1° \ 57{,}8'$	$\mathfrak{B}_1 = + 0{,}0343$	$\mathfrak{B}_2 = - 0{,}0178$
$C_1 = + 0° \ 39{,}6'$	$\mathfrak{C}_1 = + 0{,}0115$	$\mathfrak{C}_2 = - 0{,}0032$
$D_1 = + 0° \ 21{,}0'$	$\mathfrak{D}_1 = + 0{,}0061$	$\mathfrak{D}_2 = - 0{,}0030$
$E_1 = - 0° \ 6{,}6'$	$\mathfrak{E}_1 = - 0{,}0019$	$\mathfrak{E}_2 = + 0{,}0002$

Aus diesen Zahlen leitet man ab mit $\theta = 68° \ 17'$

$\mathfrak{A}_1 = + 0{,}0024 = + (\lambda - \mu)\, 0{,}3438$ $\qquad \lambda = 0{,}9889 \quad \mu = 0{,}9819$

$\mathfrak{A}_2 = + 0{,}0121 = 1 - \frac{1}{2}(\lambda + \mu) - (\lambda - \mu)\, 0{,}3632$

$\mathfrak{B}_1 = + 0{,}0343 = + \lambda\mathfrak{B}\, 0{,}3438 - g \,.\, 0{,}1369$ $\qquad \lambda\mathfrak{B} = + 0{,}1039 \quad g = + 0{,}0104$

$\mathfrak{B}_2 = - 0{,}0178 = - \lambda\mathfrak{B}\, 0{,}1369 - g \,.\, 0{,}3438$

$\mathfrak{C}_1 = + 0{,}0115 = - \lambda\mathfrak{C}\, 0{,}3438 + h \,.\, 0{,}1369$ $\qquad \lambda\mathfrak{C} = - 0{,}0307 \quad h = + 0{,}0069$

$\mathfrak{C}_2 = - 0{,}0032 = + \lambda\mathfrak{C}\, 0{,}1369 + h \,.\, 0{,}3438$

$\mathfrak{D}_1 = + 0{,}0061 = + \lambda\mathfrak{D}\, 0{,}3438$ $\qquad \lambda\mathfrak{D} = + 0{,}0177$

$\mathfrak{D}_2 = - 0{,}0030 = - \lambda\mathfrak{D}\, 0{,}1369$ $\qquad \lambda\mathfrak{D} = + 0{,}0219$ $\Big\} \ \lambda\mathfrak{D} = + 0{,}0198$

$\mathfrak{E}_1 = - 0{,}0019 = - \lambda\mathfrak{E}\, 0{,}3438$ $\qquad \lambda\mathfrak{E} = + 0{,}0055$

$\mathfrak{E}_2 = + 0{,}0002 = + \lambda\mathfrak{E}\, 0{,}1369$ $\qquad \lambda\mathfrak{E} = + 0{,}0014$ $\Big\} \ \lambda\mathfrak{E} = + 0{,}0034$

Die Deviationsbestimmung ergab:

$\mathfrak{A} = -0{,}0032$
$\mathfrak{B} = +0{,}0942 \quad \lambda\mathfrak{B} = +0{,}0923$
$\mathfrak{C} = -0{,}0224 \quad \lambda\mathfrak{C} = -0{,}0220$
$\mathfrak{D} = +0{,}0101 \quad \lambda\mathfrak{D} = +0{,}0099$
$\mathfrak{E} = -0{,}0003 \quad \lambda\mathfrak{E} = -0{,}0003$
$\lambda = \quad 0{,}9800$ (Mittel aus den Bestimmungen an vier Orten).

Da Beobachtungen der Vertikalkraft wegen ungenügenden Magnetismus der Nadel des Deviationsmagnetometers nicht gelungen waren, so müssen g und h, sowie k und R aus der Kombination der Inklinations- und Intensitätsbeobachtungen (letztere beiden aus den Werthen von μ an verschiedenen Orten) abgeleitet werden. Im Mittel findet sich:

$g = +0{,}0134 \qquad h = +0{,}0087 \qquad k = -0{,}0210 \qquad R = -0{,}0223.$

Zur Bestimmung von c und P, sowie von f und Q hat man aus den Deviationsbestimmungen folgende Werthe:

Kiel	$\lambda\mathfrak{B} = +0{,}0936$	$\lambda\mathfrak{C} = -0{,}0267$	Mittel aus den Bestimmungen 1874/76
Kapstadt	$\lambda\mathfrak{B} = +0{,}0325$	$\lambda\mathfrak{C} = -0{,}0129$	
Kerguelen	$\lambda\mathfrak{B} = -0{,}0110$	$\lambda\mathfrak{C} = -0{,}0069$	
Mauritius	$\lambda\mathfrak{B} = +0{,}0061$	$\lambda\mathfrak{C} = -0{,}0010$	
Matuku I. (Fidji-Ins.)	$\lambda\mathfrak{B} = +0{,}0075$	$\lambda\mathfrak{C} = -0{,}0155$	

woraus mit den Werthen von $\operatorname{tg}\Theta$ und $\frac{1}{H}$:

	$\operatorname{tg}\Theta$	$\frac{1}{H}$
Kiel	$+2{,}512$	$1{,}015$
Kapstadt	$-1{,}482$	$0{,}892$
Kerguelen	$-2{,}938$	$1{,}069$
Mauritius	$-1{,}501$	$0{,}746$
Matuku I.	$-0{,}830$	$0{,}492$

nach der Methode der kleinsten Quadrate folgt:

$c = +0{,}0185 \qquad P = +0{,}0489 \qquad f = -0{,}0037 \qquad Q = -0{,}0178.$

Ferner im Mittel $\mathfrak{D} = +0{,}0110 \quad \lambda\mathfrak{D} = +0{,}0108$
$\mathfrak{E} = -0{,}0022 \quad \lambda\mathfrak{E} = -0{,}0022.$

Die definitiven Reduktionsgrössen, aus Kombination der obigen mit den aus Beobachtungen mit dem Foxschen Apparat abgeleiteten, sind endlich folgende:

$k = -0{,}0210$	$c = +0{,}0205$	$P = +0{,}0466$
$\lambda\mathfrak{D} = +0{,}0112$	$f = -0{,}0068$	$Q = -0{,}0175$
$\lambda\mathfrak{E} = -0{,}0023$	$g = +0{,}0134$	
$\lambda = \quad 0{,}9825$	$h = +0{,}0087$	$R = -0{,}0223$

Hieraus ferner:

$\frac{1}{2}(c - g) = +0{,}0036 \qquad \frac{1}{2}(h - f) = +0{,}0078$
$\frac{1}{2}(c + g) = +0{,}0170 \qquad \frac{1}{2}(h + f) = +0{,}0010$

Die Ausdrücke für A_1 und $\mathfrak{A}_2$ müssen noch so umgeformt werden, dass die Glieder, welche die Horizontalintensität enthalten, von den anderen gesondert werden. Nach leichten Umformungen und indem man $Z = H \tan\Theta$ setzt, erhält man:

$$A_1 = \frac{3438}{2}(\lambda - k - 1) - \frac{3438}{2} R \frac{1}{H} \cos\Theta^2$$

$$\mathfrak{A}_2 = -k - (\lambda - k - 1)\cos\Theta^2 - \tfrac{1}{2} R \frac{1}{H} \sin 2\Theta.$$

und die numerischen Koëfficienten der Reduktionsformeln werden:

$$A_1 = +0^\circ\ \ 6{,}2' \sin 2\Theta + 1^\circ\ 16{,}7' \frac{1}{H} \sin 2\Theta$$

$$B_1 = +0^\circ\ 12{,}4' - 0^\circ\ 58{,}5' \cos 2\Theta + 1^\circ\ 20{,}2' \frac{1}{H} \sin 2\Theta$$

$$C_1 = +0^\circ\ 26{,}8' + 0^\circ\ \ 3{,}4' \cos 2\Theta + 0^\circ\ 30{,}1' \frac{1}{H} \sin 2\Theta$$

$$D_1 = +0^\circ\ 19{,}2' \sin 2\Theta$$

$$E_1 = +0^\circ\ \ 4{,}0' \sin 2\Theta$$

und

$$\mathfrak{A}_2 = +0{,}0210 - 0{,}0035 \cos \Theta^2 + 0{,}0112 \frac{1}{H} \sin 2\Theta$$

$$\mathfrak{B}_2 = -0{,}0170 \sin 2\Theta - 0{,}0466 \frac{1}{H} \cos \Theta^2$$

$$\mathfrak{C}_2 = +0{,}0010 \sin 2\Theta - 0{,}0175 \frac{1}{H} \cos \Theta^2$$

$$\mathfrak{D}_2 = -0{,}0112 \cos \Theta^2$$

$$\mathfrak{E}_2 = -0{,}0023 \cos \Theta^2.$$

Wenn man eine grosse Reihe von Beobachtungen zu reduciren hat, so wird es am zweckmässigsten sein, mit dem Argument Θ etwa von 2° zu 2° die Werthe der einzelnen mit $\sin 2\Theta$, $\cos 2\Theta$ und $\cos \Theta^2$ multiplicirten Glieder in Tabellen zu bringen. Die Werthe von Θ und $\frac{1}{H}$ können für jeden Ort aus den von der Seewarte veröffentlichten Karten oder noch besser aus den Beobachtungen selbst entnommen werden.

c) Korrektion für Temperatur.

Eine experimentelle Bestimmung des Einflusses der Temperatur für das auf der Gazelle gebrauchte Instrument hat nicht stattgefunden, es wird aber wohl erlaubt sein, den Koëfficienten, welcher für das ganz ähnliche Instrument, welches von Sir James Ross im Erebus auf seiner antarktischen Reise benutzt wurde, bestimmt worden ist, auch für das Instrument der Gazelle anzuwenden.

Danach würden die ohne Rücksicht auf Temperatur berechneten Intensitäten noch mit:

$$1 + 0{,}00016\,(\tau - \tau_0)$$

zu multipliciren sein, wo τ die Temperatur bei der Beobachtung, τ_0 die Normaltemperatur in Fahrenheitgraden bedeuten. Es ist zu setzen:

$$\tau_0 = 50^\circ\ \text{F.}\ (= 10^\circ\ \text{C.}).$$

d) Korrektion wegen Aenderung der magnetischen Momente der Nadel und der Deflektoren mit der Zeit.

Hat man an demselben Orte Beobachtungen angestellt, die um ein beträchtliches Zeitintervall aus einander liegen, so geben diese das Mittel an die Hand, die eventuelle Aenderung der magnetischen Momente der Nadel und der Deflektoren im Laufe der Zeit zu bestimmen und die daraus entspringende Korrektion der berechneten Intensitäten in der Zwischenzeit abzuleiten. In welcher Weise man diese Korrektion berücksichtigen

will, hängt viel von dem vorhandenen Beobachtungsmaterial und dem Takte des Bearbeiters ab, denn die Aenderungen der magnetischen Momente gehen keineswegs immer so regelmässig vor sich, dass man sie einfach der Zeit proportional setzen kann, es sind im Gegentheil öfter Stillstände und dann wieder Beschleunigungen in der Abnahme konstatirt worden, welche es unrathsam erscheinen lassen, eine bestimmte, allgemein gültige Regel aufzustellen. Sind, wie im Falle der Gazelle, Beobachtungen an demselben Ort und zu verschiedenen Zeiten nur an dem Ausgangspunkt vor und nach der Expedition vorhanden, so scheint es, dass man den relativ geringsten Fehler begehen wird, wenn man die etwaige Aenderung der Zeit proportional über die Dauer der Reise vertheilt. Die Korrektion ergiebt sich auf folgende Weise.

Es sei vor Antritt der Reise beobachtet:

Ablenkungswinkel u_1 bei Anwendung eines konstanten Gewichts,
" u'_1 " " der Deflektoren,

und nach Rückkehr der Expedition an demselben Orte:

Ablenkungswinkel u_2 bei Anwendung eines konstanten Gewichts,
" u'_2 " " der Deflektoren

und es seien w_1 und w_2 die den Ablenkungswinkeln u'_1 und u'_2 entsprechenden Aequivalentgewichte, ferner J' und J'' die berechneten Intensitäten bei der Rückkehr der Expedition, sowie J die Intensität beim Ausgang, dann ist:

$$J' = J\frac{\sin u_1}{\sin u_2} \cdot \frac{(1 + 0{,}00016\,[r_1 - r_0])}{(1 + 0{,}00016\,[r_2 - r_0])}, \quad J'' = J\frac{w_2 \sin u_1}{w_1 \sin u_2} \cdot \frac{1 + 0{,}00016\,(r'_1 - r_0)}{1 + 0{,}00016\,(r'_2 - r_0)}.$$

Hat keine Aenderung in dem Magnetismus der Nadel oder der Deflektoren stattgefunden, so muss $J' = J'' = J +$ Säkularänderung sein, oder wenn wir die Säkularänderung $= 0$ und $J = 1$ setzen, so muss $J' = J'' = 1$ sein. Weichen die gefundenen Werthe von 1 ab, so hat man sie also mit $\frac{1}{J'}$ bezw. $\frac{1}{J''}$ zu multipliciren, was man auch so ausdrücken kann, dass sie mit $1 + \left(\frac{1}{J'} - 1\right)$ resp. $1 + \left(\frac{1}{J''} - 1\right)$ zu multipliciren sind. $\frac{1}{J'} - 1$ und $\frac{1}{J''} - 1$ sind also die Aenderungen der magnetischen Momente während der ganzen Dauer der Reise von n Tagen und $\frac{1}{n}\left(\frac{1}{J'} - 1\right) = p$ und $\frac{1}{n}\left(\frac{1}{J''} - 1\right) = p'$ sind die Aenderungen an einem Tage. Es ist dann

$$\left.\begin{aligned} J' &= J(1 + p\,[t - t_0]) \text{ wenn Gewichte} \\ &= J(1 + p'[t - t_0]) \text{ wenn Deflektoren} \end{aligned}\right\} \text{angewendet wurden,}$$

wenn t das Datum der Beobachtung, t_0 das der Beobachtung an der Basisstation bedeutet.

Beispiel.

In Kiel wurde beobachtet:

		Temp.			Temp.
20. Juni 1874	$u_1 = 32^\circ\,44{,}4'$	57,0	$u'_2 = 54^\circ\,44{,}8'$	$w_1 = 2{,}773$	68,0
3. Mai 1876	$u_2 = 35^\circ\,39{,}2'$	58,0	$u'_1 = 49^\circ\,42{,}0'$	$w_2 = 3{,}077$	57,5

Hieraus ergiebt sich:

$$n = 683 \text{ Tage}$$

$$J' = 0{,}9279 \quad \frac{1}{J'} = 1{,}0778 \quad \text{und} \quad p = + \frac{0{,}0773}{683} = + 0{,}000114$$

$$J'' = 0{,}1881 \quad \frac{1}{J''} = 0{,}8417 \quad \text{und} \quad p' = - \frac{0{,}1588}{683} = - 0{,}000232.$$

III. Reduktion der Beobachtungen.

1. Inklination.

23. September 1874. 34° 52,8′ S-Br, 5° 8,2′ O-Lg. Kurs OSO. Nadel B.

Nach den Deflektoren	— 81° 32,8′
	— 22° 2,8′
Inklination direkt	— 51° 51,5′
	3) — 155° 27,1′
	— 51° 49,0′
Indexfehler $= C \cos(\Theta + \alpha) = \Delta_1 \Theta =$	+ 14,5′
	— 51° 34,5′

Zur Berechnung der Deviation in Inklination hat man $\zeta = 112^\circ\,30'$ (eigentlich ist dies der Kompasskurs, während der magnetische Kurs anzuwenden wäre; indess ist es bei der Kleinheit der Deviation des Kompasses wie der Korrektion der Inklination wohl erlaubt, sich diese kleine Erleichterung zu gönnen).

Ferner nach den Karten der Seewarte (Annalen d. Hydr. 1880):

$$\Theta = -51^\circ, \; 2\Theta = -102^\circ \; \text{und} \; \frac{1}{H} = 0{,}83.$$

$$\sin 2\Theta = -0{,}978, \; \cos 2\Theta = -0{,}208, \; \cos \Theta^2 = +0{,}396$$

und (nach S. 281):

	$+0^\circ\,12{,}4'$	$+0^\circ\,26{,}8'$	$D_1 = -0^\circ\,18{,}8'$	$E_1 = -0^\circ\,3{,}9'$
$-0^\circ\;6{,}2'$	$+0^\circ\,12{,}2'$	$-0^\circ\;0{,}7'$		
$+0^\circ\,25{,}2'$	$-1^\circ\;5{,}1'$	$-0^\circ\,24{,}4'$		
$A_1 = +0^\circ\,19{,}0'$	$B_1 = -0^\circ\,40{,}5'$	$C_1 = +0^\circ\;1{,}7'$		

und

$$\Delta_2 \Theta = +0^\circ\,19{,}0' + 0^\circ\,15{,}5' + 0^\circ\,1{,}5' + 0^\circ\,13{,}3' + 0^\circ\,2{,}8' = +0^\circ\,52{,}1'$$
$$= A_1 - B_1 . S_2 + C_1 . S_6 - D_1 . S_4 - E_1 . S_4$$

und die wahre Inklination

$$\Theta = -51^\circ\,34{,}5' + 0^\circ\,52{,}1' = -50^\circ\,42{,}4'.$$

2. Intensität.

a) Durch Gewichte.

$$J' = J \frac{\sin u_1}{\sin u_2} \cdot \frac{1 + 0{,}00016\,(r_1 - 50^\circ)}{1 + 0{,}00016\,(r_2 - 50^\circ)} \cdot \left\{1 + 0{,}000114\,(t - 20.\ \text{Juni 1874})\right\} \cdot$$
$$\cdot \left\{1 + \mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \mathfrak{C}_2 \sin\zeta + \mathfrak{D}_2 \cos 2\zeta + \mathfrak{E}_2 \sin 2\zeta + (\mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \ldots)^2\right\}$$

Beispiel.

Mit einem Gewichte von 2 grain engl. und Nadel B wurde beobachtet:

1. Kiel, 20. Juni 1874 $u_1 = 32° 44{,}4'$ $r_1 = 57{,}0$ $J = 4{,}735$ metr. Einheiten
2. Kerguelen, 30. Oktbr. 1874 $u_2 = 31° 11{,}8'$ $r_2 = 52{,}8$ (am Lande)

$t - 20.$ Juni $1874 = 132$ Tage.

$1 + 0{,}00016\,(r_1 - 50°) = 1{,}00112$ $\qquad 1 + 0{,}000114\,(t - t_0) = 1{,}01505$

$1 + 0{,}00016\,(r_2 - 50°) = 1{,}00045$

$\log J = 0{,}67532$ $\qquad \log \sin u_2 = 9{,}71431$

$\log \sin u_1 = 9{,}73298$ $\qquad \log 1{,}00045 = 0{,}00021$

$\log 1{,}00112 = 0{,}00048$ $\qquad 9{,}71452$

$\log 1{,}01505 = 0{,}00649$

$0{,}41527$

$9{,}71452$

$\log J' = 0{,}70075$

$J' = 5{,}021$ metrische Einheiten.

Da beiderseits an Land beobachtet wurde, so sind keine weiteren Korrektionen anzubringen.

b) Durch Deflektoren.

$$J' = J\,\frac{w_2 \sin u_1}{w_1 \sin u_2} \cdot \frac{1 + 0{,}00016\,(r_1 - 50°)}{1 + 0{,}00016\,(r_2 - 50°)} \cdot \left\{1 - 0{,}000232\,(t - 20.\text{ Juni } 1874)\right\} \cdot$$
$$\cdot \left\{1 + \mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \mathfrak{C}_2 \sin\zeta + \mathfrak{D}_2 \cos 2\zeta + \mathfrak{E}_2 \sin 2\zeta + (\mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \ldots)^2\right\}$$

Beispiel.

Kiel, 20. Juni 1874 $\qquad u_1 = 54° 44{,}8'$ $r_1 = 68{,}0$ $J = 4{,}735$ metr. Einheiten

23. Sept. 1874 $\left\{\begin{array}{l}34° 52{,}8'\text{ S-Br}\\ 5°\ 8{,}2'\text{ O-Lg}\end{array}\right\}$ $u_2 = 64° 37{,}5'$ $r_2 = 64{,}5$ Kurs OSO.

Aus der Tabelle der Aequivalentgewichte findet sich:

$w_1 = 2{,}773,\quad w_2 = 2{,}252$

$t - 20.$ Juni $1874 = 95$ Tage.

$1 + 0{,}00016\,(r_1 - 50°) = 1{,}00288$ $\qquad 1 - 0{,}000232\,(t - t_0) = 0{,}97796$

$1 + 0{,}00016\,(r_2 - 50°) = 1{,}00232$

(Nach S. 281):

$+0{,}0210$

$-0{,}0013$ $\qquad +0{,}0166$ $\qquad -0{,}0010$

$-0{,}0091$ $\qquad -0{,}0151$ $\qquad -0{,}0057$

$\mathfrak{A}_2 = +0{,}0106$ $\quad \mathfrak{B}_2 = +0{,}0015$ $\quad \mathfrak{C}_2 = -0{,}0067$ $\quad \mathfrak{D}_2 = -0{,}0044$ $\quad \mathfrak{E}_2 = -0{,}0009$

$1 + \mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \mathfrak{C}_2 \sin\zeta + \mathfrak{D}_2 \cos 2\zeta + \mathfrak{E}_2 \sin 2\zeta = 1 + 0{,}0106 - 0{,}0006 - 0{,}0061 + 0{,}0031$
$+ 0{,}0006$
$= 1{,}0076$

$(\mathfrak{A}_2 + \mathfrak{B}_2 \cos\zeta + \mathfrak{C}_2 \sin\zeta + \mathfrak{D}_2 \cos 2\zeta + \mathfrak{E}_2 \sin 2\zeta)^2 = +0{,}0001$

$1{,}0077$

$\log J = 0{,}67532$

$\log w_2 = 0{,}35257$ $\qquad \log w_1 = 0{,}44295$

$\log \sin u_1 = 9{,}91201$ $\qquad \log \sin u_2 = 9{,}95594$

$\log 1{,}00288 = 0{,}00125$ $\qquad \log 1{,}00232 = 0{,}00101$

$\log 0{,}97796 = 9{,}99034$ $\qquad 0{,}39990$

$\log 1{,}0077 = 0{,}00306$

$0{,}93455$

$0{,}39990$

$\log J' = 0{,}53465$

$J' = 3{,}425$ metrische Einheiten.

Winkelinstrumente ohne Stativ.

I. Sextanten und Oktanten.

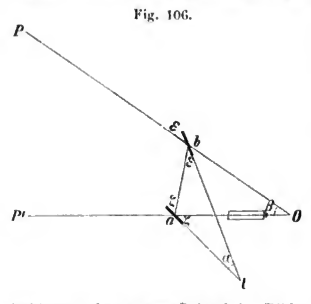
§ 122. Die Grundgesetze der Spiegelung.

1. Der einfallende Strahl, das Einfallsloth und der reflektirte Strahl liegen in einer Ebene.

2. Der Reflexionswinkel ist stets dem Einfallswinkel gleich.

Fällt ein Strahl von fester Richtung auf einen in der Einfallsebene drehbaren Spiegel, so ändert sich die Richtung des Reflexionsstrahls bei einer Drehung des Spiegels in folgender Weise: Das Einfallsloth dreht sich mit dem Spiegel um den Winkel ε, der Einfallswinkel α wird also $\alpha + \varepsilon$. Der Reflexionswinkel, nun auch $\alpha + \varepsilon$, bestimmt die Richtung des Reflexionsstrahls relativ zu der um ε geänderten Richtung des Einfallsloths. Die absolute Aenderung der Richtung des Reflexionsstrahls ist also $2\,\varepsilon$. Will man daher die Richtung eines Strahls durch den Winkelwerth einer Spiegeldrehung bestimmen, so muss man den doppelten Betrag des Winkelwerths dieser Bestimmung zu Grunde legen. Bei den Reflexionsinstrumenten ist dieses Princip zur Anwendung gebracht. Der Reflexionsstrahl wird in unveränderlicher Richtung erhalten und diejenige Spiegeldrehung gemessen, welche nöthig ist, um die zu bestimmende Richtung eines Lichtstrahls in diese gegebene Reflexionsrichtung zurückzuwerfen.

Fig. 106.



Senkrecht zur Ebene des Instruments befinden sich zwei Spiegel: ein fester, der kleine Spiegel a (Fig. 106), und ein drehbarer, der grosse Spiegel b. Bilden beide Spiegel einen beliebigen Winkel α mit einander, so ergiebt sich nun Folgendes: Ein Lichtstrahl

vom Punkte P, welcher den grossen Spiegel unter einem Winkel ε trifft, wird unter demselben Winkel ε nach dem kleinen Spiegel reflektirt und trifft diesen unter dem Winkel ζ. Unter demselben Winkel ζ wird er dann nach dem Auge O hingeworfen. Der Lichtstrahl legt also den Weg $P\,b\,a\,O$ zurück. Der Winkel $P\,O\,a = \beta$ ist bestimmt durch den Winkel α, welchen beide Spiegel mit einander bilden.

Es ist nämlich für $\triangle\, a\,b\,l$ der Aussenwinkel $\zeta = \alpha + \varepsilon$, für $\triangle\, a\,b\,O$ der Aussenwinkel $2\,\zeta = \beta + 2\,\varepsilon$, daher $\beta = 2\,\alpha$.

Wenn man in der Richtung $O\,a$ ausser dem gespiegelten Objekt P noch ein direkt gesehenes P' wahrnimmt, so ist der Winkel $P\,O\,P'$ stets gleich dem doppelten Winkel, welchen beide Spiegel bilden. Stehen beide Spiegel parallel, so laufen beide Lichtstrahlen, ehe sie das Instrument erreichen, ebenfalls parallel. Diese Stellung der Spiegel ist also der Nullpunkt für die Winkelmessung.

Die wesentliche Anordnung eines Reflexionsinstruments besteht also in Folgendem: Auf einem ebenen Instrumentenkörper sind zwei Spiegel vertikal und ein Fernrohr parallel zu der Instrumentenebene so angeordnet, dass ein durch das Fernrohr auf den festen Spiegel a fallender Strahl nach der Vertikalaxe des drehbaren Spiegels b hin reflektirt wird. Das Spiegelbild des Spiegels muss nur das halbe Gesichtsfeld des Fernrohrs ausfüllen, damit zugleich neben dem doppelt reflektirten Bilde des einen Objekts das zweite Objekt direkt gesehen werden kann. Der drehbare Spiegel ist mit einer Alhidade fest verbunden, welche mit ihm um dieselbe Axe drehbar ist und an einem getheilten Kreisbogen den Drehungswinkel abzulesen gestattet.

Offenbar ist eine Spiegelmessung in gewisse Grenzen eingeschlossen, da die Spiegelflächen sich immer zugewandt bleiben müssen. Die Spiegeldrehung ist schon deshalb kleiner als 90°, also der zu messende Winkel kleiner als 180°. Aber um ein genügend deutliches und lichtstarkes Bild zu erzielen, muss der Einfallswinkel nicht über 65° wachsen, so dass Winkel über 130° nicht mehr gut zu messen sind. Diese Grenze wird nur bei besonders darauf hinzielenden Einrichtungen des Instruments erreicht, selten um ein Weniges überschritten. Die geringe Lichtstärke und die Undeutlichkeit der Bilder aber beeinträchtigen immer den Werth solcher Messungen grosser Winkel, denn der sehr schräg einfallende Lichtstrahl hat einen unverhältnissmässig langen Weg durch das Glas des Spiegels zurückzulegen, und die Reflexion an der vorderen Fläche des Spiegelglases, sowohl des von aussen kommenden als des von der Rückseite des Spiegels zurückgebrochenen Strahls zerstreut und absorbirt einen grossen Theil des Lichts von dem im kleinen Spiegel zu beobachtenden Bilde. (Die Fehler, welche grossen Winkeln anhaften, siehe § 130.) Die Theilung des Limbus ist so ausgeführt, dass man nicht die Winkeldrehung des Spiegels, sondern den gemessenen Winkel gleich selbst, als das Doppelte der Winkeldrehung, abliest.

Nach vorstehenden Principien sind die Sextanten und Oktanten konstruirt. Dieselben unterscheiden sich nicht streng von einander, denn die der Bezeichnung zu Grunde liegende Beschränkung des Kreisbogens von 60° und 45° wird nicht mehr innegehalten. Der Unterschied liegt hauptsächlich in der Feinheit der Limbustheilung und der Ablesung. Die üblichsten Spiegelinstrumente sind Oktanten mit Limbustheilung in halbe oder drittel Grade (Noniusablesung 30 bezw. 20 Sekunden). Sextanten mit Limbustheilung in viertel oder sechstel Grade (Noniusablesung 15 bezw. 10 Sekunden).

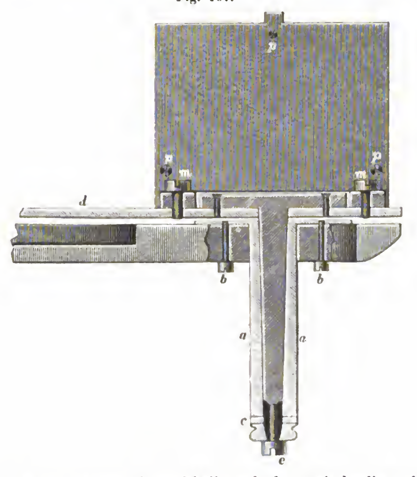
Wo im Folgenden von der Theorie die Rede ist, wird unter der Bezeichnung Sextant stets die ganze Kategorie dieser Reflexionsinstrumente verstanden.

§ 123. Beschreibung des Oktanten.

Der folgenden Beschreibung ist ein Oktant von H. Haecke in Berlin zu Grunde gelegt.

Der Körper des Instruments besteht aus einem Bogenstück, welches

Fig. 107.



mit zwei Radien, einem Centraltheil und der zwischenliegenden Verstrebung, ein Gussstück ausmacht. Auf demselben sind die einzelnen

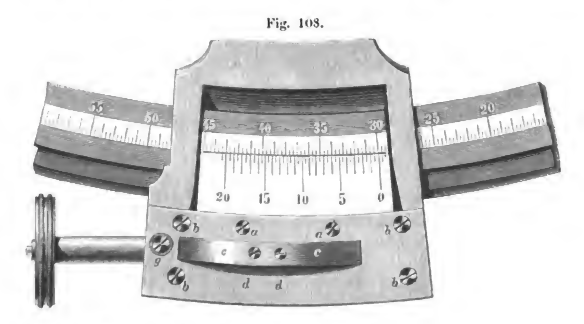
Theile in einer Ebene der Theorie gemäss gruppirt. Auf dem Bogenstück von 235 mm Radius ist ein Silberstreifen schwalbenschwanzartig eingewalzt, welcher den Limbus,*) d. h. die Kreistheilung des Instruments, trägt. Die Theilung ist in Drittelgraden bis 130° fortgeführt. Jeder Theilstrich hat also den Werth von 20 Minuten des beobachteten Winkels, ist aber in Wirklichkeit ein Bogentheil von 10 Minuten des 65° langen Bogenstücks. Die Theilung ist nach rechts hin über den Nullpunkt um einige Grade hinausgeführt, um die Korrektion dieses Nullpunkts durch korrespondirende positive und negative Winkelmessung zu bestimmen.

Genau dem Mittelpunkt dieser Kreistheilung entsprechend, ist die Zapfenbuchse *a* (Fig. 107) für die Alhidade in den Instrumentenkörper eingelassen und mittelst dreier Schrauben *b*, deren Köpfe an der Rückseite des Instruments hervorsehen, befestigt. Die Buchse ist konisch ausgedreht, so dass der konische Zapfen der Alhidade *d* saugend in dieselbe hineinpasst. Ueber das Ende desselben greift eine Platte *c* mit Schraube *e*, welche den Zapfen in seiner Buchse festhält und die Reibung zu reguliren gestattet. Der Zapfen greift mit einer kreisförmigen Platte über die Alhidadenfläche und ist an dieser mit drei Schrauben befestigt.

Die Alhidade ist Träger des grossen Spiegels und zugleich der Ablesevorrichtung. Die Ablese- und Einstellvorrichtung besteht aus dem Nonius, dem Mikrometer und der Lupe.

Der Nonius (Fig. 108) mit Theilung auf Silber, ist in einem Ausschnitt der Alhidade befestigt. Ein 39 Limbustheile langes Bogenstück

Fig. 108.



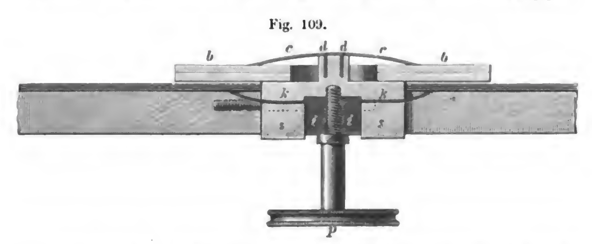
ist in 40 Theile getheilt. Man erhält also eine Ablesung auf 30 Sekunden. Zwei Schrauben *a a* verbinden den Nonius mit einer Messingplatte, welche

*) Lateinisch limbus: Streifen.

einen integrirenden Theil der Alhidade bildet, insofern sie ausser dem Nonius auch die Einstellvorrichtung mit der Alhidade verbindet.

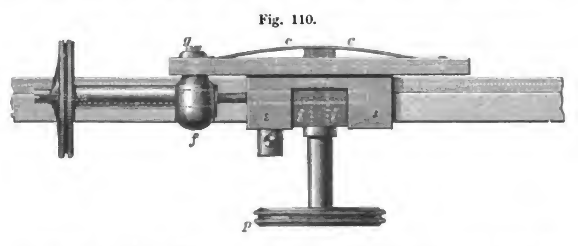
Die Einstellvorrichtung (Fig. 109) besteht aus zwei Haupttheilen, nämlich: 1. aus dem in gewissem Masse von der Alhidade unabhängigen

Fig. 109.



Schlitten $s\,d\,d\,s$ mit Klemmstück i und 2. der Tangentenschraube, welche die Alhidade gegen den festgeklemmten Schlitten verschiebt (Fig. 110). Der Schlitten gleitet am Limbusbogen entlang und vermittelt die Führung der Alhidade, mit welcher er durch die plattenförmige Druckfeder $c\,c$

Fig. 110.



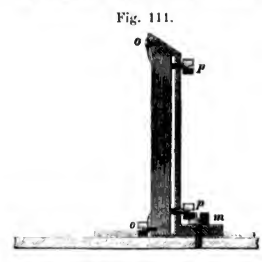
verbunden ist. Diese Feder spannt sich über einen Schlitz in der Messingplatte $b\,b$, und in diesem Schlitz bewegt sich das kleine Verbindungsstück des Schlittens, in welches die Schrauben $d\,d$ der Druckfeder c hineinpassen.

Wird nun der Schlitten vermittelst des Klemmstückes i und der gegen die Rückseite des Limbusbogens drückenden Klemmfeder $k\,k$ durch Anziehen der Klemmschraube p festgesetzt, so hat die Alhidade noch Spielraum für eine Bewegung in Grenzen dieses Schlitzes unter der Druckfeder c. Diese Bewegung wird vermittelt durch die Tangentenschraube, welche bei ihrer Fortbewegung in der im Schlitten eingeschnittenen Mutter die Nuss $f\,g$ und damit die Alhidade fortbewegt.

Die Lupe. Zur Ablesung des Nonius ist auf der Alhidade noch eine Lupe angebracht, welche von einem drehbaren Arm getragen wird und mit einem mattweissen Blendglase zum Schutz der Ablesung gegen störende Lichtreflexe verbunden ist. Die Fassung der Lupe besteht aus einem Messingrohr mit Diaphragma und Sehloch im Okulardeckel (§ 9).

Der grosse Spiegel. Der grosse Spiegel ist in einen vertikal über dem Alhidadenzapfen stehenden Rahmen (Fig. 111) eingesetzt. Der Rahmen ist mittelst zweier Schrauben *m* auf der Alhidade fest aufgeschraubt. In diesem Rahmen wird der Spiegel durch drei über die Vorderfläche des Spiegels übergreifende Nasen *o* gehalten, welche mit Hülfe von Schrauben an der Vorderseite des Rahmens befestigt sind und zum Auswechseln des Spiegels leicht gelöst werden können. An der hinteren Wand des Rahmens befinden sich diesen Nasen gegenüber drei Schrauben *p*, welche die vertikale Stellung des Spiegels zu reguliren bestimmt sind.

Fig. 111.



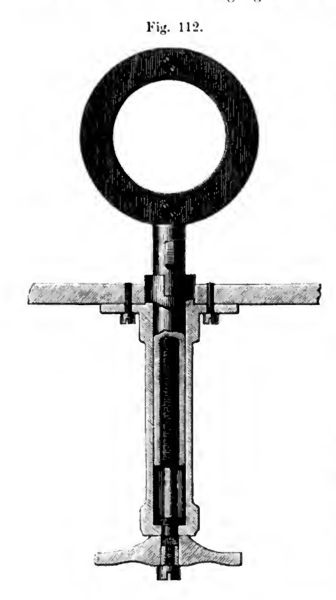
Der kleine Spiegel. Der kleine Spiegel ist in ähnlicher Weise in seinen Rahmen eingesetzt, statt durch Nasen wird er aber durch einen übergreifenden Metallstreifen in seinem Rahmen gehalten.

Der Rahmen des kleinen Spiegels ist mit einer kreisförmigen Fussplatte fest verbunden. Diese Fussplatte ruht auf zwei konischen Zapfen, welche in der Ebene des Rahmens aus dem Instrumentenkörper hervorragen. Zwei Kopfschrauben — eine vor, eine hinter dem Spiegel — stellen den Spiegel zur Instrumentenebene vertikal. Die Rückseite des Rahmens ist für den unbelegten Theil des Spiegels ausgeschnitten. Auf der Rückseite befinden sich ausserdem drei Kopfschrauben, welche die Stellung des Spiegels im Rahmen zu seiner Vertikalaxe reguliren. Zu diesem selben Zweck ist der Metallstreifen, welcher den Rand der vorderen Spiegelfläche bildet, auf der äusseren Seite halb abgeschnitten und drückt mit seinem federnden, mit einem Dorn auf der Spiegelfläche aufliegenden Ende der rückseitigen Kopfschraube entgegen.

Der Fernrohrträger. Für Aufnahme des mit der Instrumentenebene parallelen Fernrohrs oder Diopterrohrs ist der Fernrohrträger, wie die Spiegel, genau vertikal zur Instrumentenebene angebracht. Derselbe ist in einer cylindrischen Buchse verstellbar, welche an einem Ansatz des Instrumentenkörpers durch drei Kopfschrauben befestigt ist. Diese Buchse hat zwei diametral gegenüberstehende Nuten, in welche ein Zapfen des in die Buchse eingepassten Fernrohrträgers eingreift. Man kann daher den Fernrohrträger um 180° drehen, seine Neigung gegen die Vertikale

(in der Ebene der Fernrohraxe) wohlverstanden aber hierdurch nicht eliminiren. Eine solche Neigung wird vielmehr nur durch die Verstellung der Buchse korrigirt. Zum Auf- und Niederbewegen des Fernrohrträgers ist in dem unteren Theil seines Cylinders eine Mutter eingeschnitten. In diese greift eine lange Stellschraube von unten hinein (Fig. 112).

Fig. 112.



Oben erweitert sich der Fernrohrträger zu einem Gewinderinge behufs Aufnahme des Fernrohrs.

Dem Oktanten ist ein astronomisches Fernrohr von sechsfacher Vergrösserung und ein Galileisches Fernrohr von dreifacher Vergrösserung, sowie ein Diopterrohr beigegeben.

Die Blendgläser. Für die vom grossen Spiegel reflektirten Strahlen sind zwischen grossem und kleinem Spiegel drei kreisförmige farbige Gläser in vierkantigen, um ein gemeinschaftliches Charnier beweglichen Fassungen angebracht. Das Charnier wird durch eine Kopfschraube an dem Instrumentenkörper festgehalten.

Aehnliche Blendgläser in (der Raumersparniss wegen) runden Fassungen befinden sich hinter dem kleinen Spiegel für das direkt gesehene Bild. Sie sind mit ihren Charniren um 180° drehbar.

§ 124. Beschreibung des Sextanten.

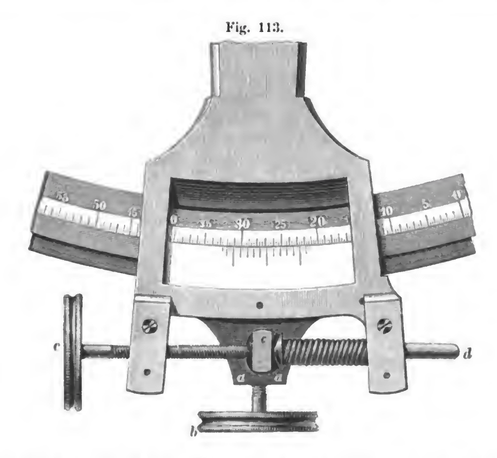
Der Beschreibung ist ein Instrument von Wanschaff in Berlin zu Grunde gelegt.

Die Abweichungen dieses Instruments gegen den eben beschriebenen Oktanten sind in den höheren Anforderungen begründet, welche an Sextanten gestellt werden. Bei kleinerem Radius (18 cm) ist der Limbus von 10 zu 10 Minuten getheilt und die Theilung von -5° bis $+140^\circ$

fortgeführt. Der Nonius unterscheidet sich wenig von dem oben beschriebenen und gestattet eine Ablesung auf 10 Sekunden.

Wesentlich verschieden von der des Oktanten ist die **Mikrometervorrichtung.** Die Alhidade läuft gabelförmig über den Ausschnitt für die Ablesung hinaus (Fig. 113). Die eine Gabel nimmt in einer Mutter die Mikrometerschraube *c* auf, die andere einen Messingstift *d* mit Knopf. Zwischen beiden befindet sich, ohne feste Verbindung mit

Fig. 113.



der Alhidade, der als Klemmstück fungirende Schlitten *a*, welcher den Instrumentenbogen unterhalb des Limbus umklammert und dort vermittelst der Klemmschraube *b* — welche auf eine plattenförmige Feder wirkt — festgeklemmt werden kann. Auf diesem Schlitten ist der an den Seiten leicht ausgekehlte stählerne Zapfen *c* eingesetzt, gegen welchen von der einen Seite die Mikrometerschraube drückt, von der andern der Knopf des Messingstifts *d* durch eine zwischen Knopf und Alhidadenarm auf den Stift gestreifte Spiralfeder gepresst wird. Diese Konstruktion hat gegen die der Tangentenschraube zwei wichtige Vorzüge: Einmal ist durch den Gegendruck der Spiralfeder jeder todte Gang der Schraube vermieden, sodann wird hier bei der Mikrometerbewegung ein gleichmässiger Druck auf die Alhidade ausgeübt (nach der einen Richtung durch die Spiralfeder, nach der andern durch die Mikrometerschraube) und dadurch eine Verbiegung der Alhidade ausgeschlossen.

Die Lupe ist bei diesem Sextanten eine Doppellupe (vergl. S. 28).

Der Fernrohrträger unterscheidet sich von dem des Oktanten wesentlich dadurch, dass der Gewindering hier ein besonderes Stück bildet. Dieser Ring wird in den grösseren Ring des Fernrohrträgers mit Spielraum eingesetzt und in demselben durch zwei in der Vertikalaxe des Fernrohrträgers 180° von einander angebrachten Korrektionsschrauben festgehalten. Auf diese Weise ist hier eine, beim Oktanten gewöhnlich nicht vorgesehene, direkte Korrektur der Fernrohrstellung zu bewirken.

Der Sextant hat vor dem grossen Spiegel vier Blendgläser verschiedener Durchlässigkeit, welche mit einer einfachen Vorrichtung zum Verstellen um 180° versehen sind.

Einige Abweichungen bei diesem Sextanten sind speciell den Instrumenten dieses Verfertigers eigen. Sie bestehen wesentlich in Folgendem:

1. Die Verstrebung des Instrumentenkörpers ist radial von dem Schwerpunkt aus angeordnet und in diesem einen Angriffspunkt (statt der sonst üblichen zwei) der Handgriff des Instruments angebracht.

2. Die Befestigung des grossen Spiegels ist von der beim Oktanten beschriebenen abweichend konstruirt. Der grosse Spiegel ist gegen eine vertikale Rückenplatte gelegt, welche mit der Fussplatte fest verbunden ist. Der Rahmen ist nun vertikal über die Rückenplatte und den Spiegel gestreift. Durch Anziehen einer einzelnen, in der Mitte der hinteren Rahmenfläche befindlichen Kopfschraube, welche gegen die feste Rückenplatte des Spiegels drückt, wird der Spiegel dann festgesetzt, ohne dass eine Durchbiegung stattfinden kann.

Ein Auswechseln oder Umdrehen des Spiegels ohne zeitraubende Korrektion ist hierdurch sehr erleichtert.

§ 125. Die Fehler des Sextanten,

welche von der Stellung des Fernrohrs und der Spiegel herrühren.

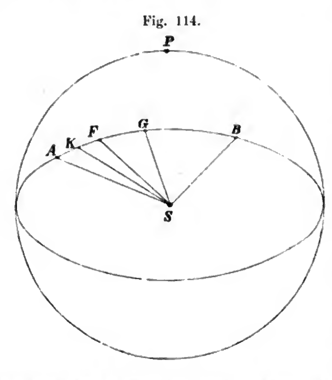
Die Theorie des Instruments setzt voraus, dass die Ebene, in welcher die Spiegelungen vor sich gehen, also die Ebene der Beobachtung mit der Ebene der Theilung und der Alhidade (der Ebene des Instruments) parallel ist.

Abgesehen von der Berichtigung einzelner Theile des Instruments ist also Bedingung: senkrechte Stellung der Spiegel zum Instrument und rechtwinklige Stellung der Fernrohraxe auf die Spiegelebenen.

Eine absolute Genauigkeit lässt sich bei keinem Instrument voraussetzen. Es ist also theoretisch zu untersuchen, welchen Einfluss kleine Fehler in der Stellung der Spiegel und des Fernrohrs ausüben, um danach ermessen zu können, welcher Grad der Präcision bei der Anfertigung des Instruments verlangt werden muss.

In nachfolgender Figur 114 sei $AKFGB$ ein grösster Kreis einer Hohlkugel, in deren Centrum S der im Verhältniss zur Kugel unendlich kleine Sextant gedacht wird. P sei der dem grössten Kreise entsprechende Pol. Ist nun die Ebene des Instruments dieselbe wie die des Kreises, und stehen Spiegel und Fernrohr richtig, so liegen die Einfallslothe, Einfalls- und Reflexionsstrahlen alle in dieser selben Ebene und können in ihrer Verlängerung als Radien des Kreises $AKFGB$ dargestellt werden. Die Winkel, welche sie unter einander bilden, werden dann durch grösste Kreisbogen an der Kugel dargestellt. Wenn SG das Einfallsloth des grossen, SK das des kleinen Spiegels darstellt, so ist der Bogen GK die Darstellung des halben, mit dem Sextanten gemessenen Winkels. Verfolgt man den Strahl, der, vom Punkt B kommend, auf den grossen Spiegel fällt, so erhält man die Richtungen:

Fig. 114.



BS Objekt — Grosser Spiegel,
SA Grosser Spiegel — Kleiner Spiegel,
SF Kleiner Spiegel — Fernrohr.

Nach dem Gesetz der Spiegelung ist:

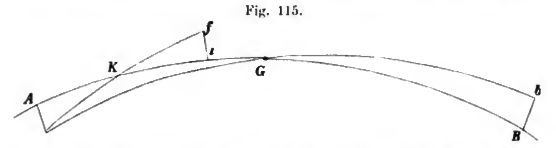
$$\left.\begin{array}{l} BG = AG \\ FK = AK \end{array}\right\} \text{ als Einfalls- und Reflexionswinkel.}$$

Nach der Theorie des Sextanten ist:

$$FB = 2\,KG.$$

Ist das Fernrohr gegen die Sextantenebene um ι (Fig. 115) geneigt,

Fig. 115.



so fällt der Strahl Fernrohr — Kleiner Spiegel nach f statt F. fS muss mit dem reflektirten Strahl in einer Ebene — der Ebene fSK — liegen,

statt $A\,S$ wird also der Strahl $a\,S$ zwischen kleinem Spiegel und grossem Spiegel zu betrachten sein und entsprechend statt $B\,S$ jetzt der Strahl $b\,S$. Während man also den Winkel $F\,B$ abliest, misst man den Winkel $f\,b$. Es ist $Ff = A\,a = B\,b$; $F\,B \cos \iota$ ist der Bogen eines Parallelkreises zum grössten Kreise der Sextantenebene im Abstande ι, woraus folgt $f\,b < F\,B \cos \iota$. Eine Neigung des Fernrohrs hat also zur Folge, dass man auf dem Sextanten den Winkel zu gross abliest. Der wahre Winkel ist sehr nahe gleich dem abgelesenen Winkel, multiplicirt mit $\cos \iota$. Die Korrektion lässt sich bestimmen aus dem sphärischen Dreieck am Pol $P\,f\,b$, dessen Winkel $2\,P$ von den gleichen Seiten $90 - \iota$ eingeschlossen ist. Die dritte Seite ist $f\,b = x$.

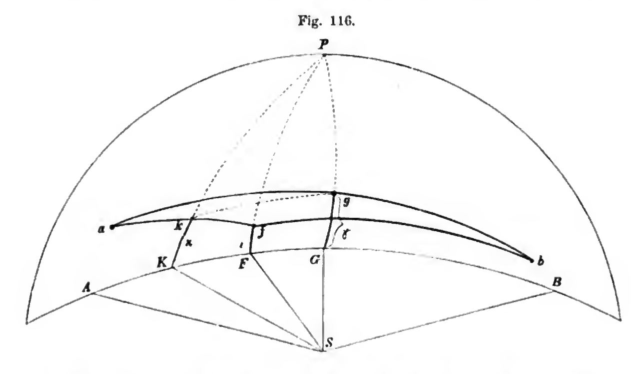
$$\cos x = \sin^2 \iota + \cos^2 \iota \cos 2\,P.$$

Man entwickelt:

$$\cos x = \sin^2 \iota + \cos 2\,P - \sin^2 \iota \cos 2\,P$$
$$\cos x - \cos 2\,P = \sin^2 \iota\,(1 - \cos 2\,P)$$
$$2 \sin \tfrac{1}{2}\,(2\,P - x) \sin \tfrac{1}{2}\,(2\,P + x) = 2 \sin^2 \iota \sin^2 P$$
$$\sin \tfrac{1}{2}\,(2\,P - x) = \frac{\sin^2 \iota \sin^2 P}{\sin 2\,P} = \tfrac{1}{2} \sin^2 \iota \operatorname{tg} P$$
$$\text{(I)}\quad 2\,P - x = \iota^2 \operatorname{tg} P \sin 1''.$$

Ist der kleine Spiegel um $\varkappa$, der grosse um γ zur Instrumentenebene geneigt, so treffen die Einfallslothe statt in K und G die Kugel in k und g,

Fig. 116.



und das sphärische Dreieck $P\,k\,g$ giebt die Beziehungen zwischen dem halben gemessenen Winkel $k\,g$ und dem auf der Instrumentenebene eingestellten Winkel P. Es ist, wenn $g\,k = p$ gesetzt wird

$$\cos p = \sin \gamma \sin \varkappa + \cos \gamma \cos \varkappa \cos P.$$

Wegen der Kleinheit der Winkel γ und $\varkappa$ kann gesetzt werden:

$$\gamma \sin 1'' = \sin \gamma \qquad 1 - \tfrac{1}{2}\gamma^2 \sin^2 1'' = \cos \gamma$$
$$\varkappa \sin 1'' = \sin \varkappa \qquad 1 - \tfrac{1}{2}\varkappa^2 \sin^2 1'' = \cos \varkappa$$

also auch:

$$\cos p = \gamma \varkappa \sin^2 1'' + \cos P - (\tfrac{1}{2}\gamma^2 + \tfrac{1}{2}\varkappa^2) \sin^2 1'' \cos P$$

$$2 \sin \frac{p+P}{2} \sin \frac{p-P}{2} = \tfrac{1}{2}(\gamma - \varkappa)^2 \sin^2 1'' - (\gamma^2 + \varkappa^2) \sin^2 \tfrac{1}{2} P \sin^2 1''.$$

Setzt man für $\frac{p+P}{2}$ hier P ein, so erhält man

$$p = P + \frac{(\gamma - \varkappa)^2}{2 \sin P} \sin 1'' - \frac{\gamma^2 + \varkappa^2}{2} \sin 1'' \operatorname{tg} \tfrac{1}{2} P.$$

Wenn man — was innerhalb geringer Grenzen leicht zu bewirken ist — den kleinen Spiegel des Sextanten dem grossen parallel stellt, also $\gamma = \varkappa$ macht und das Fernrohr normal zu beiden stellt, so folgt aus dieser Formel:

$$\text{(II)} \quad 2P - 2p = 2\gamma^2 \operatorname{tg} \tfrac{1}{2} P \sin 1''.$$

Ist aber das Fernrohr nicht den Spiegelnormalen parallel, sondern um einen kleinen Winkel ι_2 zu ihnen geneigt, so ist wieder (nach I)

$$2p - x = \iota_2^2 \operatorname{tg} p \sin 1'',$$

also:

$$\text{(III)} \quad 2P - x = 2\gamma^2 \operatorname{tg} \tfrac{1}{2} P \sin 1'' - \iota_2^2 \operatorname{tg} P \sin 1''$$

worin immer $2P$ den am Instrument abgelesenen, x den in Wahrheit gemessenen Winkel bezeichnet. (In III ist in dem Gliede $-\iota_2^2 \operatorname{tg} P \sin 1''$ für $\operatorname{tg} p$ der Werth $\operatorname{tg} P$ eingesetzt, was wegen des geringen Unterschiedes von P und p angängig ist.)

ι_2 lässt sich aus den bekannten Abweichungen, $\varkappa\, \gamma\, \iota$ aus folgender Betrachtung herleiten (Fig. 117):*)

Da $\varkappa$ und γ immer nur sehr kleine Grössen sind, so ist man berechtigt, ι_2 und ι als eine gerade Linie anzunehmen, $Ff' = \iota_2 + \iota$ auf der Instrumentenebene senkrecht.

Betrachtet man nun die rechtwinkligen Dreiecke, welche gebildet werden aus den zwei zu einander geneigten (in N sich schneidenden) Bogen KFG und $kf'g$ und den Abständen $\varkappa, \gamma, (\iota_2 + \iota)$, so hat man die Relation:

$$\operatorname{ctg} N = \operatorname{ctg} \varkappa \sin NK = \operatorname{ctg}(\iota_2 + \iota) \sin (\widehat{NK + KF}) = \operatorname{ctg} \gamma \sin (\widehat{NK + P})$$

woraus man leicht ableitet:

$$\operatorname{tg} NK = \frac{\operatorname{tg} \varkappa \sin P}{\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \varkappa \cos P} = \frac{\operatorname{tg} \varkappa \sin KF}{\operatorname{tg}(\iota + \iota_2) - \operatorname{tg} \varkappa \cos P}.$$

Für $\varkappa, (\iota + \iota_2), \gamma$ kann man statt der Tangente den Bogen setzen und erhält:

$$\iota + \iota_2 + \frac{\gamma \sin KF + \varkappa \sin (\widehat{P - KF})}{\sin P}.$$

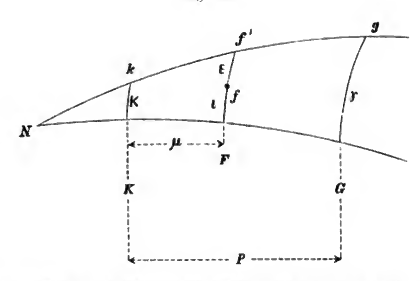
Der Bogen KF ist nichts Anderes als der konstante Winkel, welchen die Fernrohraxe mit dem Loth auf den kleinen Spiegel in der Instru-

*) In der Figur ist $\iota_2 = ff'$ mit ε bezeichnet.

mentenebene bildet. Bezeichnet man diese ebenfalls zu bestimmende Grösse mit μ, so erhält man:

$$\iota_2 = \frac{1}{\sin P}(\gamma \sin \mu + \varkappa \sin [P - \mu] - \iota \sin P).$$

Fig. 117.



Dies eingesetzt, ergiebt für den wahren Winkel x aus den Werthen:

$2P$ abgelesener Winkel,
γ Neigung des grossen Spiegels,
$\varkappa$ Neigung des kleinen Spiegels,
ι Neigung des Fernrohrs gegen die Instrumentenebene,
μ Konstruktionswinkel zwischen Fernrohraxe und Normale auf dem kleinen Spiegel.

$$\text{(IV)} \quad x = 2P + \left[\frac{(\gamma - \varkappa)^2}{\sin P} - (\gamma^2 + \varkappa^2)\operatorname{tg}\tfrac{1}{2}P - \left(\frac{\gamma \sin \mu + \varkappa \sin (P - \mu)}{\sin P} - \iota\right)^2 \operatorname{tg} P\right] \sin 1''.$$

Ist der kleine Spiegel dem grossen parallel gestellt ($\gamma = \varkappa$) und das Fernrohr der Instrumentenebene parallel $\iota = 0$, so ist:

$$\text{(V)} \quad x = 2P - \left[2\gamma^2 \operatorname{tg}\tfrac{1}{2}P + \left(\gamma \frac{\sin \mu + \sin (P - \mu)}{\sin P}\right)^2 \operatorname{tg} P\right] \sin 1''.$$

§ 126. Einfluss der Fehler auf die Winkelmessung.

An der Hand der gewonnenen Formeln kann nun der Einfluss leicht untersucht werden, welchen Fehler in der Spiegel- oder Fernrohrstellung auf die Winkelmessung ausüben:

1. Die Spiegel stehen korrekt, und das Fernrohr ist geneigt.

Aus Formel I ergiebt sich, dass der Fehler wächst mit dem zu messenden Winkel.

Bei 120° ergiebt sich für einen Fehler der Winkelmessung:

$\Delta = 1''$	$\iota = 6'$
$= 5''$	$= 13'$
$= 10''$	$= 15'$

Eine Neigung des Fernrohrs von 10′ übt noch keinen erheblichen Einfluss aus, darüber hinaus aber nimmt der Fehler schnell zu.

In der Praxis hat es keine Schwierigkeit, die Fernrohraxe auf 10′ genau einzustellen.

2. Beide Spiegel sind einander parallel, aber zur Instrumentenebene geneigt, und das Fernrohr ist auf die Spiegel senkrecht, also parallel zur Reflexionsebene gestellt.

Aus Formel II ergiebt sich, dass auch hier den grössten Winkeln der grösste Fehler entspricht. Um bei 120° einen Fehler hervorzubringen

von dem Betrage $\triangle = 1''$ muss sein $\gamma = 7'$
$= 5''$ $\gamma = 9{,}6'$

Es ist aber immer möglich, γ auf weniger als 7′ zu korrigiren.

3. Wenn das Instrument so korrigirt ist, dass der kleine Spiegel dem grossen parallel und das Fernrohr der Instrumentenebene parallel gestellt ist, so tritt dem Fehler 2 noch ein Fehler hinzu, nahe gleich dem Fehler 1, wie Formel III und V ersehen lässt. Derselbe ist:

1″ für $\gamma = 5'$
4″ für $\gamma = 10'$.

4. Die allgemeine Formel IV lässt erkennen, worauf bei der Korrektur der Spiegel- und Fernrohrstellung hauptsächlich Sorgfalt zu verwenden ist. Wenn man annimmt $\gamma = 5'$, $x - \gamma = 2'$, $\iota = 10'$, so wird der Fehler, welcher von $x - \gamma$ herrührt $\left(\frac{(\gamma - x)^2}{\sin P}\right)$ für den gemessenen Winkel:

0° 12′	$\triangle$ 40″
0° 20′	24″
0° 40′	23″
2° 0′	4″
20° 0′	0,2″.

Der Einfluss des zweiten Gliedes $(\gamma^2 - x^2)$ tg $\frac{1}{2}P$ ist so gering, dass er nicht 1″ für den grössten messbaren Winkel erreicht.

Der Einfluss des dritten Gliedes (ι_2 tg P) ist nahezu aufgehoben, da das Fernrohr nur noch um 3′ gegen die Normale des kleinen Spiegels geneigt ist. Nur bei den kleinen Winkeln tritt ein kleiner Fehler auf, bei

0° 12′	$\triangle = 3{,}5''$
0° 20′	2,2″
0° 40′	1,1″
2° 0′	0,4″.

Wenn dagegen die Neigung des Fernrohrs mit dem umgekehrten Vorzeichen auftritt $\iota = -10'$, so wird bei

20°	$\triangle = 0{,}6''$
60°	2,6″
120°	9,0″.

Aus diesen Betrachtungen ist zu folgern:

1. Bei der Korrektur ist die grösste Sorgfalt auf die Parallelstellung der Spiegel zu verwenden und das Fernrohr nicht sowohl parallel zur

Instrumentenebene als senkrecht zu den Spiegelflächen (parallel der Reflexionsebene) zu stellen.

2. Winkel über 120° und unter 1° sind zu vermeiden.

(Ueber die Fehler bei grossen Winkeln, die in viel höherem Grade von der Konvergenz der Spiegelflächen des grossen Spiegels herrühren, siehe § 130.)

§ 127. Korrektur der Spiegel- und Fernrohrneigung.

1. Prüfung und Berichtigung der Stellung des grossen Spiegels.

Die Stellung des grossen Spiegels muss zunächst geprüft werden. Es muss dazu vorausgesetzt werden, dass die Drehungsaxe der Alhidade genau senkrecht zur Instrumentenebene eingesetzt ist, was vom Verfertiger mit möglichster Sorgfalt ausgeführt wird. Wenn der Nonius sich beim Bewegen der Alhidade überall mit gleicher Reibung gleichmässig an der Alhidade entlang bewegt, kann man diese Bedingung als erfüllt betrachten.

Um dann die Spiegelstellung selbst zu prüfen und eventuell zu berichtigen, verfährt man folgendermassen:

Man stellt die Alhidade auf etwa 60° ein und hält das Instrument so vor das Auge (den Limbus vom Auge abgewendet), dass man, am grossen Spiegel entlangsehend, den Limbus direkt und zugleich im Spiegel sein Bild sieht. Erscheint der gespiegelte Limbus als gerade Fortsetzung des direkt gesehenen, so steht der Spiegel offenbar senkrecht zum Limbus; erscheint der letztere aber gebrochen, so ist der Spiegel geneigt. Die Korrektion geschieht vermittelst der Schrauben, welche die Fussplatte mit der Alhidade verbinden; es genügt dazu ein leichtes Anziehen oder Lösen der hinter der Mitte des Spiegels befindlichen Vertikalschraube. (Bei dem oben beschriebenen Sextanten ist diese Schraube zur Unterscheidung blank, während die übrigen geschwärzt sind.)

Mittelst der dem Sextanten in der Regel beigegebenen Diopter lässt sich diese Prüfung in folgender Weise vornehmen:

Man nimmt den Fernrohrträger aus seiner Hülse und dreht die Alhidade so weit herum, dass das Loth auf den grossen Spiegel dem Radius etwa bei 60° der Ablesung parallel wird. (Die Alhidade lässt sich gewöhnlich federnd über die vorstehende Hülse des Fernrohrträgers fortschieben.) Wenn man das Instrument auf einen Tisch legt, so kann man nun die Diopter so auf der Instrumentenebene aufstellen, dass das Loth auf den grossen Spiegel durch beide hindurchgeht. Deckt sich dann beim Durchsehen durch das Okulardiopter der Faden des Objektivdiopters genau mit seinem Spiegelbild, so steht der Spiegel richtig, andernfalls korrigirt man ihn auf die beschriebene Weise so, dass diese Deckung erfolgt.

2. Die Prüfung und Korrektur der Stellung des kleinen Spiegels.

Der kleine Spiegel wird parallel dem grossen gestellt. Man beobachtet durch das Fernrohr einen Stern oder ein scharf begrenztes Objekt und lässt das gespiegelte Bild an dem direkt gesehenen vorbeipassiren, indem man die Alhidade um den Nullpunkt hin und her bewegt.

Wenn die beiden Bilder dabei nicht genau zur Deckung zu bringen sind, so steht der kleine Spiegel dem grossen nicht parallel.

Die Korrektur erfolgt durch die beiden Schrauben der Fussplatte des kleinen Spiegels, welche vor und hinter demselben angebracht sind und deren Köpfe sich an der Rückseite des Instrumentenkörpers befinden.

3. Prüfung und Korrektur der Fernrohrstellung.

Wenn man die Parallelstellung des Fernrohrs zur Instrumentenebene prüfen will, so verfährt man in folgender Weise:

Man setzt neben dem Fernrohr ein Diopterpaar auf den Instrumentenkörper auf und visirt einen sehr entfernten, scharf begrenzten Punkt an. Wenn man dann durch das Fernrohr sieht, so muss dieser Punkt in der Mitte des Fernrohrs erscheinen.

Dieses Verfahren ist wenig genau, und da es in der Praxis darauf ankommt, dass das Fernrohr parallel zur Reflexionsebene der korrigirten Spiegel gestellt ist, so verdient ein anderes Verfahren den Vorzug. Man dreht das Okular so, dass zwei parallele Fäden desselben der Instrumentenebene parallel gerichtet sind. Bringt man nun zwei Sterne oder scharf markirte Punkte, welche etwa 120° von einander abstehen, zur Deckung, so steht das Fernrohr richtig, wenn diese Deckung, an beiden Fäden nach einander beobachtet, unverändert bleibt.

Findet aber die Berührung statt an dem der Instrumentenebene näheren Faden, während an dem entfernteren Faden beobachtet die Punkte noch aus einander bleiben, so ist das Fernrohr mit dem Objektiv der Instrumentenebene abgeneigt. Beobachtet man aber den Winkel kleiner an dem der Instrumentenebene entfernteren Faden, so ist das Objektiv der Instrumentenebene zugeneigt.

Die beiden Schrauben, welche den Gewindering mit dem Fernrohrträger verbinden, gestatten dann die Fernrohrlage entsprechend zu korrigiren.

(Bei den Prismenkreisen, wo ein solcher Gewindering nicht vorhanden ist, wird diese Korrektur vermittelst der Schrauben vertikal zur Instrumentenebene vorgenommen, welche die Hülse des Fernrohrträgers auf dem Instrumentenkörper festhalten.)

Man kann diesen Fehler numerisch sehr genau feststellen. Dazu ist jedoch zunächst erforderlich, den Abstand der Fäden im Fernrohr von einander zu bestimmen.

§ 128. Bestimmung der Fadenabstände.

Man stellt die Fäden im Okular senkrecht zur Instrumentenebene. Darauf bringt man das direkt gesehene Bild eines Sterns mit dem einen der Fäden und gleichzeitig das doppelte reflektirte Bild desselben Punktes mit dem anderen Faden zur Deckung. Diesen Winkel liest man am Nonius ab. Darauf schraubt man die Bilder an einander vorbei, bis der direkt gesehene Stern am zweiten Faden, der doppelt reflektirte am ersten Faden eingestellt ist, und liest nun wieder ab. Das Mittel beider Ablesungen ist der gesuchte Fadenabstand, unabhängig vom Indexfehler. (Die halbe Differenz ist der Indexfehler.)

Beispiel:

Direkt gesehenes Bild an Faden rechts / Doppelt reflektirtes Bild an Faden links	$+ 1^\circ 44' \ 0''$
Direkt gesehenes Bild an Faden links / Doppelt reflektirtes Bild an Faden rechts	$- 1^\circ 43' 50''$
Fadenabstand	$= 1^\circ 43' 55''$
Indexfehler	$= - \ 0' \ 5''$

Bestimmung des Neigungswinkels des Fernrohrs zur Reflexionsebene (ι_2).

Das Okular wird hierzu so gedreht, dass die Parallelfäden der Instrumentenebene parallel gestellt sind. Zwei helle Sterne oder gutbegrenzte irdische Objekte, welche etwa 120° von einander abstehen, werden sodann zur Dekung gebracht und diese Deckung zuerst an dem einen Faden scharf eingestellt; die Ablesung für diese sei a. Darauf wird die Beobachtung am anderen Faden ebenso angestellt, die Ablesung für diese sei b. Dann ist nach Seite 308 Formel (I) (wenn der korrekte Winkel x die Fadendistanz d):

$$x = a - \left(\iota_2 + \frac{d}{2}\right)^2 \sin 1'' \operatorname{tg} \frac{a}{2}$$

$$x = b - \left(\iota_2 - \frac{d}{2}\right)^2 \sin 1'' \operatorname{tg} \frac{b}{2}$$

$$0 = a - b - 2\,\iota_2\, d \sin 1'' \operatorname{tg} \frac{a}{2}$$

($\operatorname{tg} \frac{a}{2}$ und $\operatorname{tg} \frac{b}{2}$ differiren so wenig, dass sie hier gleich gesetzt werden können.)

Es folgt daraus:

$$\iota_2 = \frac{a - b}{2\, d \sin 1'' \operatorname{tg} \frac{a}{2}} \cdot$$

Beispiel.

Zwischen zwei Objekten, die etwa 116° von einander entfernt sind, wurde gemessen:

a. Deckung der Bilder am oberen Fernrohrfaden 116° 6′ 40″
b. „ „ „ „ unteren „ 116° 2′ 55″
$a - b =$ 3′ 45″

$a - b =$ 225″ log 2,3522	
$2d$ = 12470″	log — 4,0959
$\frac{a}{2} = 58° 3' 20''$	log sin 1″ = 4,6856
8,9866	log tg $\frac{a}{2}$ = 0,2051
log t_2 = 3,3656	log Nenner = 8,9866
t_2 = 2321″	
= 38′ 41″	

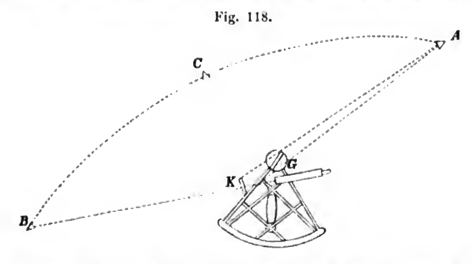
§ 129. Der Winkel zwischen der Normalen auf dem kleinen Spiegel und der Fernrohraxe.

Bereits im Vorhergehenden ist von dem Winkel μ, welchen die Fernrohraxe und die Normale auf dem kleinen Spiegel mit einander einschliessen, Gebrauch gemacht worden. Die Kenntniss dieses Winkels wird auch später noch von Nutzen sein, weshalb die Untersuchung desselben hier eingeschoben werden soll.

Der vom grossen Spiegel nach dem kleinen gelangende Lichtstrahl wird am kleinen Spiegel um den Winkel 2 μ in das Fernrohr reflektirt.

Bei einem Sextanten, dessen Alhidade sich bis gegen 140° hin drehen lässt, steht der grosse Spiegel in dieser Extremstellung so nahe rechtwinklig auf den kleinen Spiegel gerichtet, dass man durch das Fernrohr sehend ein einmal reflektirtes Bild eines in grösserer Entfernung hinter

Fig. 118.

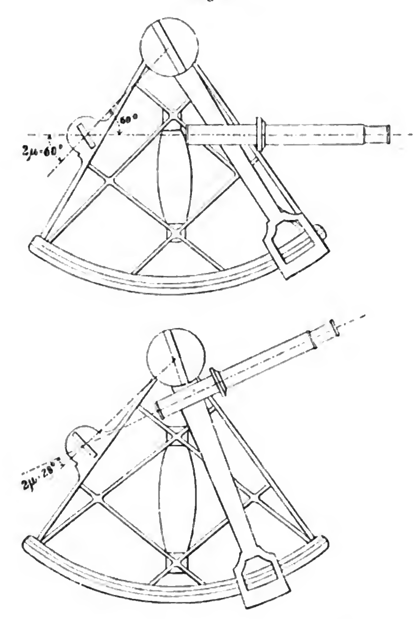


dem grossen Spiegel liegenden Objektes deutlich wahrnimmt. Die von diesem Objekt kommenden Strahlen gehen zu beiden Seiten am grossen

Spiegel vorbei und fallen auf den kleinen Spiegel. Daraus ergiebt sich das Verfahren zur Bestimmung von μ (Fig. 118):

Man befestigt den Sextanten horizontal auf einem Stativ und dreht ihn so, dass man ein scharf begrenztes, einmal reflektirtes Bild A im kleinen Spiegel erblickt und gleichzeitig durch den unbelegten Theil des kleinen Spiegels hindurchsehend ein anderes Objekt B direkt sieht. Sind keine passenden Objekte vorhanden, so können in beiden Richtungen Markirstäbe aufgestellt werden. Man misst nun den Winkel zwischen diesen beiden Richtungen, indem man für die Sextantenmessung — da

Fig. 119.



der Winkel zu gross ist — noch ein beliebig sich am Horizont findendes Objekt C einschaltet. Dann ist $\angle BKA = 180 - 2\mu$.

Wenn die Lichtstrahlen beim grossen Spiegel nicht genügend vorbeipassiren können (wie bei vielen Oktanten), so muss man den grossen Spiegel für diese Messung ganz abnehmen.

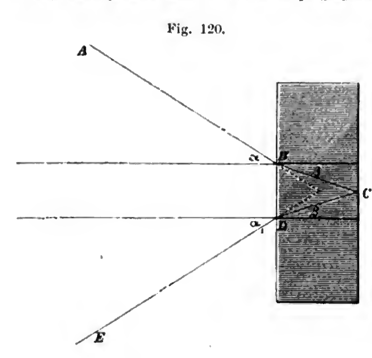
Der Winkel μ ist eine charakteristische Grösse für die Bauart des Sextanten. Wäre das Fernrohr parallel der Sehne des Sechstelkreises gestellt, so würde das Instrument die Gestalt eines gleichseitigen Dreiecks haben und der Winkel μ wäre 30°. Bei einer solchen Konstruktion würde die Bewegung der Alhidade aber sehr beschränkt sein. Bei einer Einstellung von 120° würde der grosse Spiegel parallel dem Reflexionsstrahle des kleinen Spiegels stehen, also keine Strahlen mehr in den kleinen Spiegel reflektiren. Will man das Instrument für Messung grösserer Winkel einrichten, so muss der kleine Spiegel dem grösseren mehr zugedreht oder mehr aus dem Sextanten herausgerückt werden, d. h. der Winkel μ muss kleiner werden. Der Winkel μ kann daher als Vergleichsgrösse der Leistungsfähigkeit der Sextanten gelten (Fig. 119).

Man konstruirt Instrumente mit einem Winkel μ von weniger als 14°, bei welchen das Fernrohr dicht an den grossen Spiegel und der kleine Spiegel weit aus dem Kreissektor des Instrumentenkörpers gerückt ist. Es lassen sich Winkel bis zu 145° mit solchen Sextanten messen. Obgleich eine solche Winkelmessung nicht genau werden kann, so ist sie doch für manche Fälle äusserst vortheilhaft.

§ 130. Die prismatische Gestalt der Spiegelgläser.

Wenn die beiden Begrenzungsebenen der Glasplatte, welche den Spiegel bildet, nicht parallel sind, so ist das Spiegelgesetz von der Gleichheit des Einfalls- und Reflexionswinkels nicht mehr in Bezug auf das Loth zutreffend, welches auf der Aussenfläche des Spiegels gedacht wird. Der reflektirte Strahl tritt unter einem Winkel aus, welcher um eine zu untersuchende Grösse x von dem Einfallswinkel verschieden ist.

Fig. 120.



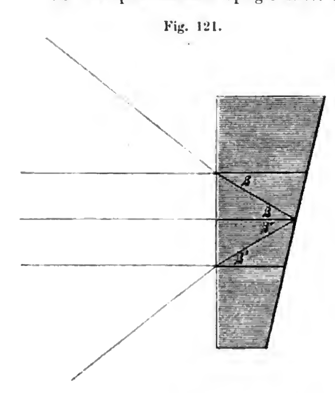
Für einen ebenen Spiegel ist der Weg des Strahles in nebenstehender Figur dargestellt durch die gebrochene Linie $ABCDE$.

Wenn α den Einfalls-, β den Reflexionswinkel für den Eintritt, β' und α' die entsprechenden Winkel für den Austritt bezeichnen, so ist nach dem Gesetz der Reflexion $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}$, und da $\beta = \beta'$, so muss auch $\alpha = \alpha'$ sein.

Bei dem prismatischen Spiegel bleibt die Gleichung bestehen:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\alpha'}{\sin\beta'}.$$

Fig. 121.



Hier ist aber β nicht mehr gleich β'. Gegen den vorher betrachteten Fall ist die eigentliche Spiegelfläche um einen Winkel χ, gleich der Neigung beider Spiegelflächen zu einander, gedreht; β' ist daher nun um 2χ von β verschieden. Unter der Annahme, dass die Spiegelflächen nach der Seite des reflektirten Strahles hin konvergiren, ist

$$\beta = \beta' + 2\chi$$

und es wird

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin(\alpha - x)}{\sin(\beta - 2\chi)}$$

oder

$$\sin\alpha \sin(\beta - 2\chi) = \sin\beta \sin(\alpha - x).$$

Wenn man diese Gleichung auflöst und wegen der geringfügigen Werthe von 2χ und x einsetzt

$$\sin 2\chi = 2\chi \sin 1''; \quad \cos 2\chi = 1$$

und

$$\sin x = x \sin 1''; \quad \cos x = 1,$$

so erhält man:

$$2\chi \sin 1'' \sin\alpha \cos\beta = x \sin 1'' \cos\alpha \sin\beta$$

oder

$$x = 2\chi \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\beta}$$

Hieraus ist β zu eliminiren. Das Brechungsverhältniss von Luft und Glas ist $3 : 2 = 1{,}5 = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ oder $\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{1{,}5}$ und man hat, die Tangente durch den Sinus ausgedrückt:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sin\beta}{\sqrt{1 - \sin^2\beta}} = \frac{\sin\alpha}{\sqrt{1{,}5^2 - \sin^2\alpha}} = \frac{\sin\alpha}{(1{,}5^2 - 1) + \cos^2\alpha}$$

$$x = 2\chi \sqrt{1 + \frac{1{,}25}{\cos^2\alpha}}.$$

Es ist nun dieses Resultat auf die Winkel anzuwenden, welche man mit dem Sextanten misst.

Bei dem kleinen Spiegel ist der ein- und ausfallende Strahl von konstanter Richtung. Ein Fehler in dieser Richtung verursacht eine konstante Abweichung in der Nullstellung der Alhidade, welche also in dem Indexfehler des Instruments enthalten ist.

Dagegen ändert sich beim grossen Spiegel der Einfallswinkel für jede Stellung desselben, also auch der Werth der Korrektion x. Es werde zunächst die Korrektion für die Nullstellung der Alhidade betrachtet. Stehen beide Spiegel parallel, so ist der Einfallswinkel für den grossen Spiegel gleich dem für den kleinen Spiegel μ. Dieser Winkel ist schon früher benutzt (siehe S. 315).

Der Fehler der Nullstellung, welcher, von der prismatischen Gestalt des grossen Spiegels herrührend, in den Indexfehler eingeht, ist daher

$$2\chi\sqrt{1+\frac{1{,}25}{\cos^2\mu}}\,.$$

Für jeden anderen Winkel, welcher mit dem Sextanten gemessen wird, ist der Einfallswinkel grösser und zwar um den Werth des Alhidadenwinkels, also des halben zu messenden Winkels δ. Die veränderliche Korrektion ist also:

$$x = 2\chi\left(\sqrt{1+\frac{1{,}25}{\cos^2(\delta+\mu)}}-\sqrt{1+\frac{1{,}25}{\cos^2\mu}}\right),$$

worin für δ der halbe, am Instrument abgelesene Winkel (also eigentlich um x noch zu korrigirende Winkel) genommen werden kann.

Die Korrektion ist positiv, wenn die Spiegelflächen nach der Seite des Limbus konvergiren, und umgekehrt.

Es ist im Vorstehenden angenommen, dass die Konvergenz der Spiegelflächen parallel zur Instrumentenebene stattfindet, also die Prismenkante bei χ vertikal zu dieser Ebene gerichtet ist. Ist diese Prismenkante zur Instrumentenebene geneigt, so ist auch die Reflexionsebene nicht mehr der Instrumentenebene parallel. Ein solcher Fehler ist aber nicht zu trennen von dem Fehler der Neigung des grossen Spiegels und wird in der Art korrigirt, dass nicht die Vorderseite des grossen Spiegels, sondern die spiegelnde Fläche zur Instrumentenebene senkrecht gestellt wird. Unter dieser Voraussetzung ist die folgende Tafel für einen Winkel $\chi = 1'$ unter Annahme eines Winkels $\mu = 15°$ berechnet, aus welcher ersichtlich wird, dass bei grossen Winkeln der Fehler sehr beträchtlich auf das Resultat influiren kann.

Korrektion wegen der prismatischen Gestalt des grossen Spiegels

$$2\left(\sqrt{1+\frac{1,25}{\cos^2(\delta+\mu)}}-\sqrt{1+\frac{1,25}{\cos^2\mu}}\right) \text{ für } \chi = 1'$$

Abgel. Winkel	Korrektion	Abgel. Winkel	Korrektion	Abgel. Winkel	Korrektion
0°	0″	45°	0′ 24″	90°	1′ 50″
5	1″	50	0′ 29″	95	2′ 11″
10	3″	55	0′ 34″	100	2′ 26″
15	5″	60	0′ 41″	105	3′ 7″
20	7″	65	0′ 49″	110	3′ 47″
25	10″	70	0′ 57″	115	4′ 13″
30	12″	75	1′ 7″	120	5′ 49″
35	16″	80	1′ 19″	125	7′ 28″
40	20″	85	1′ 34″	130	9′ 58″

§ 131. Ermittelung der Spiegelfehler.

Der Fehler der prismatischen Gestalt des grossen Spiegels wird bestimmt, indem man einen grossen Winkel misst, darauf den Spiegel in seiner Fassung umsetzt (um 180° dreht) und denselben Winkel wieder misst. Das Mittel beider Ablesungen ist dann der wahre Winkel, die halbe Differenz derselben ist der von der prismatischen Gestalt herrührende Fehler für diesen Winkel. Durch die vorstehende kleine Tafel ist man nun in Stand gesetzt, aus einer solchen Bestimmung die Korrektion für jeden anderen Winkel zu entnehmen oder für das betreffende Instrument eine Korrektionstafel herzustellen.

Man habe z. B. zwischen zwei entfernten Kirchthurmspitzen gemessen 127° 39′ 30″, darauf den grossen Spiegel in seiner Fassung umgesetzt und denselben Winkel nun gefunden zu 127° 41′ 50″. Es war also der wahre Winkel 127° 40′ 40″ und der von dem prismatischen Spiegel herrührende Fehler 70″. Misst man nun mit dem Instrument mit der jetzigen Spiegelstellung einen anderen Winkel zu 82° 30′ 20″, so hat man für die von dieser Messung abzuziehende Korrektion x aus 70″ und den Tafelwerthen

für 127° 40′: 8′ 48″
für 82° 30′: 1′ 27″

$$\frac{8'\,48''}{1'\,27''} = \frac{70''}{x} \quad \text{oder } x = 11''$$

den numerischen Werth des Spiegelfehlers χ aber findet man aus derselben Beobachtung, indem man den gefundenen Fehler 70″ durch den Tafelwerth 8′ 48″ dividirt. Man erhält $\chi = 0,13'$ oder 8″.

Ausser der **Gestalt** des Spiegels ist auch noch die plane **Fläche** desselben Gegenstand der Untersuchung. Ein Fehler hierin macht sich

dadurch bemerklich, dass die Bilder nicht scharf genug begrenzt sind, also die Beobachtung von Rändern der Sonne etc. unsicher wird. Wenn man mit einem stark vergrössernden Fernrohr unter einem spitzen Winkel ein helles Objekt im Spiegel betrachtet, erkennt man Fehler der Spiegelfläche sofort. Erscheinen zwei Bilder bei dieser Beobachtung, so rührt das von einer Konvergenz der Glasflächen her. Sobald solche Fehler in einem Fernrohr etwas stärkerer Vergrösserung als des dem Instrument beigegebenen nicht merklich sind, ist der Spiegel brauchbar.

§ 132. Die Prüfung der farbigen Gläser.

Diese Prüfung wird in ähnlicher Weise wie die des grossen Spiegels vorgenommen, indem man die Gläser mit ihrer Fassung um 180° dreht und denselben Winkel durch dieselben Gläser wieder beobachtet. Ist eine Einrichtung für das Drehen der Gläser nicht am Instrument vorgesehen, so kann man die Drehung durch Abnehmen der Gläser von ihren Charnieren und umgekehrtes Wiederaufsetzen erreichen. Da man ein solches Auseinandernehmen aber immer möglichst vermeidet, so wird man sich damit begnügen, durch verschiedenartige Bestimmung des Indexfehlers (siehe § 134) mit und ohne farbige Gläser die Prüfung vorzunehmen. Da hierbei Beleuchtung des Objekts und Lichteindruck auf das Auge sehr verschieden wirken, so erhält man keinen scharfen Werth und kann sich nur überzeugen, ob keine zu bedeutenden Fehler vorhanden sind.

Jedes farbige Glas ist in seine Fassung in bestimmter Lage eingesetzt, welche gewöhnlich vom Verfertiger markirt ist und welche nicht ohne Wiederholung der Prüfung geändert werden darf.

Fehler von 10 bis 15 Sekunden finden sich häufig als die Folge eines prismatischen farbigen Glases.

Die Gläser müssen wie die Spiegel nicht nur von parallelen Flächen begrenzt sein, sondern auch durchaus eben und aus homogenem Material geschliffen sein. Man untersucht sie daher ebenso wie die Spiegel, indem man ein Fernrohr auf ein in dem Glase gespiegeltes Bild richtet. Da die Lichtstrahlen auf die farbigen Gläser immer rechtwinklig auffallen, so ist es nicht erforderlich, die gleichen Anforderungen hier zu stellen wie bei Spiegeln.

§ 133. Der Fehler der Excentricität.

Wenn die Vertikalaxe der Alhidade nicht genau mit dem Centrum der Limbustheilung zusammenfällt, so entsteht ein Fehler in der Winkelmessung. Ein sehr geringer Abstand beider Mittelpunkte von einander reicht hin, einen erheblichen Fehler in der Winkelmessung hervorzurufen.

Um diesen Fehler näher zu untersuchen, wird im Folgenden die theoretische Betrachtung desselben aus dem „Handbuch der Navigation“ zunächst wiederholt:

Es sei (Fig. 122) C der Mittelpunkt der Theilung, D der Drehpunkt des grossen Spiegels. Man misst den Winkel $A\,D\,O$ und liest den Winkel $A\,C\,O$ ab. Der Unterschied der beiden Winkel ist der Fehler, welchen die Excentricität verursacht und der bestimmt werden soll.

Fig. 122.

Dabei ist zu beachten, dass der Winkel $A\,D\,O = A$ die Grösse der Drehung der Alhidade misst, also der halbe Winkel ist, den die beiden Objekte mit einander bilden, oder gleich dem halben abgelesenen Winkel.

Setzt man:

$$\angle A\,D\,O = A, \quad \angle A\,C\,O = a,$$
$$C\,D = e, \quad \angle O\,C\,P = p,$$
$$\angle C\,O\,D = \gamma, \quad \angle C\,A\,D = \delta,$$
$$C\,O = C\,A = r$$

und, weil e in allen Fällen sehr klein ist, $D\,O$ und $D\,A$ ebenfalls gleich r, so ist:

$$\sin\gamma = \frac{e}{r}\,.\,\sin p, \quad \sin\delta = \frac{e}{r}\,.\,\sin(a-p)$$

und wegen der Kleinheit der Winkel γ und δ, wobei der jedesmalige Sinus mit dem Bogen verwechselt werden kann:

$$\gamma = 206\,265''\,.\,\frac{e}{r}\,.\,\sin p$$

$$\delta = 206\,265''\,.\,\frac{e}{r}\,.\,\sin(a-p).$$

Setzt man ferner $206\,265\,.\,\frac{e}{r} = \varepsilon$, so ist: $\gamma = \varepsilon\,.\sin p$ und $\delta = \varepsilon\,.\sin(a-p)$ und da $A = a + (\gamma + \delta)$, so ist:

$$A = a + \varepsilon\,.\left\{\sin(a-p) + \sin p\right\},$$

und da in der Sextantentheilung $1^\circ = 2^\circ$ gerechnet ist:

$$2\,A = 2\,a + 2\,\varepsilon\,.\left\{\sin(a-p) + \sin p\right\}.$$

Ebenso hat man für einen zweiten gegebenen Winkel $2\,B$, für welchen die Messung mittelst des Sextanten $2\,b$ ergab:

$$2\,B = 2\,b + 2\,\varepsilon\,.\left\{\sin(b-p) + \sin p\right\}.$$

Nach Umformung dieser Gleichung ergiebt sich:

$$(1) \qquad \frac{A-a}{2\sin\frac{a}{2}} = \varepsilon\,.\cos\left(\frac{a}{2} - p\right) = m.$$

$$(2) \qquad \frac{B-b}{2\sin\frac{b}{2}} = \varepsilon\,.\cos\left(\frac{b}{2} - p\right) = m'.$$

Da nun

$$\left(\frac{b}{2} - p\right) = \left(\frac{a}{2} - p\right) + \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right),$$

so wird:

$$m' = \varepsilon . \cos\left(\frac{a}{2} - p\right) . \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - \varepsilon . \sin\left(\frac{a}{2} - p\right) . \sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$$

$$= m . \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - \varepsilon . \sin\left(\frac{a}{2} - p\right) . \sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right).$$

Demnach:

$$(3) \qquad \varepsilon . \sin\left(\frac{a}{2} - p\right) = \frac{m . \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - m'}{\sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)}.$$

Dividirt man nun Gleichung (3) durch Gleichung (1), so erhält man:

$$(4) \qquad \operatorname{tg}\left(\frac{a}{2} - p\right) = \frac{m . \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - m'}{m . \sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)}$$

und somit auch p.

Dann ergiebt sich ε, indem man Gleichung (3) umformt durch:

$$\varepsilon = \frac{m . \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - m'}{\sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) . \sin\left(\frac{a}{2} - p\right)}.$$

Das Verfahren ist folgendes:

Zwei mittelst eines zehnzölligen Reflexionskreises oder auf andere zuverlässige Weise genau festgestellte Winkel, $2A$ und $2B$, werden mit dem zu prüfenden Sextanten, dessen Indexkorrektion zuvor ermittelt oder beseitigt worden ist, genau gemessen. Dann rechnet man m und m' nach Gleichung (1) und (2) aus, hierauf $\frac{a}{2} - p$ nach Gleichung (4) und erhält somit p. Endlich findet man ε, indem man den in Gleichung (3) rechts erhaltenen Werth durch $\sin\left(\frac{a}{2} - p\right)$ dividirt.

Aus den ermittelten ε und p wird die Excentricitätskorrektion für jede Ablesung am Sextanten durch die Formel:

$$2A - 2a = 2\varepsilon . \sin p + 2\varepsilon . \sin(a - p)$$

berechnet, indem man zunächst den konstanten Theil $2\varepsilon . \sin p$ bildet, dann $2a = 10°, 20°, 30°$ u. s. f. successive in das Glied $2\varepsilon . \sin(a - p)$ einsetzt und die Summe beider in einer Tabelle folgender Form zusammenstellt, welche dem Sextanten beigefügt wird:

Sextant K. M. No. N. N.

Ablesung am Sextanten	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°
Korrektion für Excentricität												

$\varepsilon =$ $\qquad$ $p =$

Zur Ermittelung der Excentricität sind daher nur zwei bekannte Winkel nöthig; es ist aber wünschenswerth, noch einen dritten zu haben, um durch Messung desselben die berechnete Excentricität kontroliren zu können.

Mit Hülfe von drei Winkeln kann man auch die Bestimmung der Indexkorrektion*) übergehen und für die Formeln (1) und (3) folgende setzen:

$$(1) \qquad \varepsilon \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\}=m$$

$$(3) \qquad \varepsilon \cdot \sin\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\}=\frac{m \cdot \cos\left(\frac{c}{2}-\frac{b}{2}\right)-m'}{\sin\left(\frac{c}{2}-\frac{b}{2}\right)}$$

was in vielen Fällen bequemer ist.

Für diese Methode bietet sich in der Bestimmung der Indexkorrektion auf anderem Wege eine gute Kontrole.

---

*) Die Entwickelung dieser Formeln ist folgende: Die drei mittelst genauer Kreismessung bestimmten Winkel seien $2A$, $2B$ und $2C$, für welche die Sextantenmessung der Reihe nach $2a$, $2b$ und $2c$ ergab. Setzt man nun den Indexfehler $= \triangle$ und $2A - 2a = n$, $2B - 2b = n'$, $2C - 2c = n''$, so ist:

$$n \;= 2\varepsilon \cdot \sin(a-p) + 2\varepsilon \cdot \sin p \pm \triangle$$
$$n' = 2\varepsilon \cdot \sin(b-p) + 2\varepsilon \cdot \sin p \pm \triangle$$
$$n'' = 2\varepsilon \cdot \sin(c-p) + 2\varepsilon \cdot \sin p \pm \triangle$$

Bildet man jetzt die Differenzen $n - n'$ und $n - n''$, so fallen die beiden letzten Glieder rechts fort, und man hat:

$$n - n' = 2\varepsilon \cdot \left\{\sin(a-p) - \sin(b-p)\right\}, \text{ d. h.}$$
$$= 4\varepsilon \cdot \sin\left(\frac{a}{2}-\frac{b}{2}\right) \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\}$$
$$n - n'' = 2\varepsilon \cdot \left\{\sin(a-p) - \sin(c-p)\right\}, \text{ d. h.}$$
$$= 4\varepsilon \cdot \sin\left(\frac{a}{2}-\frac{c}{2}\right) \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{c}{2}\right)-p\right\}$$

folglich:

$$\frac{n-n'}{4\sin\left(\frac{a}{2}-\frac{b}{2}\right)} = \varepsilon \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\} = m$$

$$\frac{n-n''}{4\sin\left(\frac{a}{2}-\frac{c}{2}\right)} = \varepsilon \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{c}{2}\right)-p\right\}$$
$$= \varepsilon \cdot \cos\left\{\left(\frac{c}{2}-\frac{b}{2}\right)+\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\} = m'$$

und man hat zur Bestimmung von p und ε die Gleichungen:

$$\varepsilon \cdot \sin\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\} = \frac{m \cdot \cos\left(\frac{c}{2}-\frac{b}{2}\right)-m'}{\sin\left(\frac{c}{2}-\frac{b}{2}\right)}$$

$$\varepsilon \cdot \cos\left\{\left(\frac{a}{2}+\frac{b}{2}\right)-p\right\} = m.$$

Beispiel.

Um die Excentricität des Sextanten Haecke K. M. 87 zu bestimmen, sind mit demselben nachstehende, durch anderweitige Feststellung genau bekannte Winkel gemessen worden.

Die JC des Instruments war $-0' 30''$.

I.	$9° 36' 41{,}2''$	V.	$59° 39' 33{,}1''$
II.	$22° 22' 12{,}5''$	VI.	$79° 22' 29{,}3''$
III.	$27° 6' 50{,}6''$	VII.	$88° 58' 39{,}4''$
IV.	$36° 42' 51{,}2''$	VIII.	$116° 4' 42{,}5''$

Wird nach Formel (1) die Excentricität aus den Winkeln III und VI, nachdem dieselben für JC verbessert sind, berechnet, erhält man als Resultat:

$$2\,\varepsilon = 160'' \qquad p = 270° 7'.$$

Nach Formel (2) ergiebt die Rechnung aus den für JC nicht verbesserten Winkeln III, VI und VIII

$$2\,\varepsilon = 199'' \qquad p = 137° 42' \text{ und } JC - 0' 3{,}5''.$$

Der Unterschied in beiden Resultaten, noch mehr aber die Abweichung der berechneten von der beobachteten JC zeigt, dass Fehler bei der Beobachtung gemacht worden sind; es musste daher die Messung der Winkel III, VI und VIII wiederholt werden.

Das Resultat der zweiten Messung war:

$$JC - 0' 30''$$

$27° 6' 55{,}0''$	$79° 22' 22{,}4''$	$116° 4' 52{,}3''$
wahrer $\measuredangle$ $27° 6' 16{,}2''$	wahrer $\measuredangle$ $79° 21' 22{,}4''$	wahrer $\measuredangle$ $116° 3' 36{,}9''$
$n = -38{,}8''$	$n' = -60{,}0''$	$n'' = -75{,}4''$

$$n - n' = +21{,}2'' \quad {}^1/_4\, n - n' = 5{,}3'' \quad {}^1/_2\, a = 6° 46' 44'' \quad {}^1/_2(a-b) = -13° 3' 51''$$
$$n - n'' = +36{,}6'' \quad {}^1/_4\, n - n'' = 9{,}15'' \quad {}^1/_2\, b = 19° 50' 35'' \quad {}^1/_2(a-c) = -22° 14' 29''$$
$${}^1/_2\, c = 29° 1' 13'' \quad {}^1/_2(c-b) = +9° 10' 38''$$

$$\log \frac{n-n'}{4}\ 0{,}72428 \qquad \log \frac{n-n''}{4}\ 0{,}96142 \qquad \log\sin {}^1/_2(c-b)\ 9{,}20273$$
$$\log\sin {}^1/_2(a-b)\ 9{,}35419\,n \qquad \log\sin {}^1/_2(a-c)\ 9{,}57808\,n \qquad \log m \cos {}^1/_2(c-b) - m'\ 0{,}01284$$
$$\log m\ 1{,}37009\,n \qquad \log m'\ 1{,}38334\,n \qquad \log \varepsilon \sin \left\{{}^1/_2(a+b) - p\right\}\ 0{,}81011$$
$$\log\cos {}^1/_2(c-b)\ 9{,}99440 \qquad m' = -24{,}17 \qquad \log \varepsilon \cos \left\{{}^1/_2(a+b) - p\right\}\ 1{,}37009\,n$$
$$\log m \cos {}^1/_2(c-b)\ 1{,}36449\,n \qquad m \cos {}^1/_2(c-b) = -23{,}14 \qquad \log \operatorname{tg} \left\{{}^1/_2(a+b) - p\right\}\ 9{,}44002\,n$$
$$m \cos {}^1/_2(c-b) - m' + 1{,}03 \qquad \log\sin \left\{{}^1/_2(a+b) - p\right\}\ 9{,}42416$$
$$\log \varepsilon\ 1{,}38595$$

$${}^1/_2(a+b) - p = 164° 36' \qquad \varepsilon = 24{,}3''$$
$${}^1/_2(a+b) = 26° 37' \qquad 2\,\varepsilon = 48{,}6''$$
$$p = -137° 59'$$
$$\text{oder } p = 222° 1'$$
$$a = 13° 33'$$
$$b = 39° 41'$$

$c = 58° 2'$	$\log 2\,\varepsilon = 1{,}68684$	$\log 2\,\varepsilon \sin \ldots$		
$a - p = -208° 28'$	$\log\sin 9{,}67820$	$1{,}36504$	$= +23{,}17$	
$b - p = -182° 20'$	$\log\sin 8{,}60973$	$0{,}29657$	$= +1{,}97$	
$c - p = -163° 59'$	$\log\sin 9{,}44078\,n$	$1{,}12762\,n$	$= -13{,}41$	
$p = +222° 1'$	$\log\sin 9{,}82565\,n$	$1{,}51249\,n$	$= -32{,}54$	

Excentricität:

berechnet	beobachtet	JC
$= -\ 9{,}4''$	$-38{,}8''$	$-29{,}4''$
$= -30{,}5''$	$-60{,}0''$	$-29{,}5''$
$= -46{,}0''$	$-75{,}4''$	$-29{,}4''$

Die Uebereinstimmung der berechneten mit der beobachteten JC beweist, dass die Winkel richtig gemessen wurden.

Mit den bei der zweiten Beobachtung erhaltenen Werthen für die Winkel III und VI wird die Excentricität des Sextanten nach Formel (1) berechnet.

$27^\circ\ 6'\ 55{,}0''$	$79^\circ\ 22'\ 22{,}4''$
$JC - 30{,}0''$	$JC - 30{,}0$
$27^\circ\ 6'\ 25{,}0''$	$79^\circ\ 21'\ 52{,}4''$
wahrer ∡ $27^\circ\ 6'\ 16{,}2''$	wahrer ∡ $79^\circ\ 21'\ 22{,}4''$
$2A - 2a = -8{,}8''$	$2B - 2b = -30{,}0''$
$A - a = -4{,}4''$	$B - b = -15{,}0''$

$\frac{a}{2} = 6^\circ\ 46'\ 36''$	log sin 9.07188	log 2 sin 9,37291
$\frac{b}{2} = 19^\circ\ 50'\ 28''$	log sin 9,53073	log 2 sin 9,83176
$\frac{b}{2} - \frac{a}{2} = 13^\circ\ 3'\ 52''$	log cos 9,98861	log sin 9,35420

$\log A - a$ 0,64345n	$\log B - b = 1{,}17609n$	$\log m \cdot \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - m'$ 0,59439
$\log 2 \sin \frac{a}{2}$ 9,37291	$\log 2 \sin \frac{b}{2} = 9{,}83176$	$\log \sin\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$ 9,35420
$\log m$ 1,27054n	$\log m'$ 1,34433n	$\log \varepsilon \cdot \sin\left(\frac{a}{2} - p\right)$ 1,24019
$\log \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$ 9,98861	$m' = -22{,}09$	$\log \varepsilon \cos\left(\frac{a}{2} - p\right)$ 1,27054n
$\log m \cdot \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$ 1,25915n	$m \cdot \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) = -18{,}16$	$\log \mathrm{tg}\left(\frac{a}{2} - p\right)$ 9,96965n
$m \cdot \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) = -18{,}16$	$m \cdot \cos\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) - m' = +3{,}93$	$\log \sin\left(\frac{a}{2} - p\right)$ 9,83378
		$\log \varepsilon$ 1,40641
		$\varepsilon = 25{,}49''$
		$2\varepsilon = 51{,}0''$

$$\frac{a}{2} - p = 137^\circ\ 0'$$

$$\frac{a}{2} = 6^\circ\ 47'$$

$$p = -130^\circ\ 13'$$

oder $p = +229^\circ\ 47'$

Mit ε und p kann man die Excentricität für jede Ablesung am Sextanten nach der Formel:

$$2A - 2a = 2\varepsilon \cdot \sin p + 2\varepsilon \sin(a - p)$$

berechnen.

Berechnung

einer Excentricitätstabelle für den Sextanten Haecke K. M. 87, unter Zugrundelegung der nach Formel (2) gefundenen Werthe:

$p = 222° 1'$; $\sin p = -0{,}669$; $2\,\varepsilon = 48{,}6''$

Ables. $2\,a$	a	$a - p$	$\sin(a-p)$	$\sin(a-p) + \sin p$	$2\,\varepsilon \{\sin(a-p) + \sin p\}$
10°	5°	— 217° 1′	+ 0,602	— 0,067	— 3″
20°	10°	— 212° 1′	0,530	— 0,139	— 7″
30°	15°	— 207° 1′	0,454	— 0,215	— 10″
40°	20°	— 202° 1′	0,375	— 0,294	— 14″
50°	25°	— 197° 1′	0,293	— 0,376	— 18″
60°	30°	— 192° 1′	0,208	— 0,461	— 22″
70°	35°	— 187° 1′	0,122	— 0,547	— 27″
80°	40°	— 182° 1′	0,035	— 0,634	— 31″
90°	45°	— 177° 1′	— 0,052	— 0,721	— 35″
100°	50°	— 172° 1′	— 0,139	— 0,805	— 39″
110°	55°	— 167° 1′	— 0,225	— 0,894	— 43″
120°	60°	— 162° 1′	— 0,309	— 0,978	— 47″

Hat man mehrere Winkel gemessen, so ist es zweckmässig, sich der Methode der kleinsten Quadrate zu bedienen, da kleine Fehler in der Winkelmessung, wie die vorstehenden, sich ausgleichen und das Endresultat nur wenig, wie später gezeigt werden wird, beeinflussen.

Die Gleichung Seite 322:

$$2\,A - 2\,a = 2\,\varepsilon \left\{ \sin(a-p) + \sin p \right\}$$

umgeformt giebt

$$2\,A - 2\,a = 2\,\varepsilon \sin a \,.\, \cos p - 2\,\varepsilon \cos a \,.\, \sin p + 2\,\varepsilon \,.\, \sin p,$$

setzt man

$$2\,A - 2\,a = 2\,\mathfrak{E}; \quad 2\,\varepsilon \,.\, \sin p = x; \quad 2\,\varepsilon \,.\, \cos p = y.$$

so hat man

$$2\,\mathfrak{E} = \sin a \,.\, y - \cos a \,.\, x + x$$

oder

$$2\,\mathfrak{E} = (1 - \cos a)\, x + \sin a \,.\, y.$$

Setzt man in diese Gleichung

$$(1 - \cos a) = b, \ \sin a = c \ \text{und} \ 2\,\mathfrak{E} = d$$

so lautet sie

$$b\,x + c\,y = d.$$

Für Winkel m hat man dann

$$\begin{array}{l} b_1\, x + c_1\, y = d_1 \\ b_2\, x + c_2\, y = d_2 \\ \ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots \\ b_m\, x + c_m\, y = d_m \end{array}$$

und man findet x und y durch

$$\begin{array}{l} [b\,b]\, x + [b\,c]\, y = [b\,d] \\ [b\,c]\, x + [c\,c]\, y = [c\,d]. \end{array}$$

Nach diesen Formeln die Excentricität des Sextanten Haecke K. M. 87 aus den zuerst gemessenen Winkeln I bis VIII berechnet, nachdem dieselben für JC verbessert waren:

gemessen	wahrer Winkelwerth	Diff. =
9° 36′ 11,2″	9° 36′ 19,7″	+ 8,5″
22° 21′ 42,5″	22° 21′ 43,0″	+ 0,5″
27° 6′ 20,6″	27° 6′ 16,2″	— 4,4″
36° 42′ 21,2″	36° 42′ 11,6″	— 9,6″
59° 39′ 3,1″	59° 38′ 41,8″	— 21,3″
79° 21′ 59,3″	79° 21′ 22,4″	— 36,9″
88° 58′ 9,4″	88° 57′ 22,4″	— 47,0″
116° 4′ 12,5″	116° 3′ 36,9″	— 35,6″

gemessener Winkel	d Diff.	b sin vers des halben Winkels	c sin des halben Winkels	db	dc	bb	bc	cc
9° 36′	+ 9	0,004	0,084	+ 0,036	+ 0,756	0,000	0,000	0,007
22° 22′	+ 1	0,019	0,194	+ 0,019	+ 0,194	0,000	0,000	0,038
27° 6′	— 4	0,028	0,234	— 0,112	— 0,936	0,001	0,007	0,055
36° 42′	— 10	0,051	0,315	— 0,510	— 3,150	0,003	0,016	0,109
59° 39′	— 21	0,132	0,497	— 2,772	— 10,437	0,018	0,066	0,247
79° 22′	— 37	0,230	0,638	— 8,280	— 22,968	0,053	0,147	0,407
88° 58′	— 47	0,287	0,700	— 13,489	— 32,900	0,082	0,201	0,491
116° 4′	— 36	0,471	0,848	— 16,956	— 30,528	0,222	0,399	0,719
				+ 0,055	+ 0,950	0,379	0,840	2,073
				— 42,119	— 100,919			
				— 42,064	— 99,969			

$$x = \frac{[cc] \, . \, [db] - [bc] \, . \, [dc]}{[bb] \, . \, [cc] - [bc]^2}$$

$$y = \frac{[bb] \, . \, [dc] - [bc] \, . \, [db]}{[bb] \, . \, [cc] - [bc]^2}$$

$$x = \frac{2{,}073 \, . \, (-42{,}064) - 0{,}840 \, . \, (-99{,}969)}{0{,}379 \, . \, 2{,}073 - (0{,}840)^2} = -40{,}31$$

$$y = \frac{0{,}379 \, . \, (-99{,}969) - 0{,}840 \, . \, (-42{,}064)}{0{,}379 \, . \, 2{,}073 - (0{,}840)^2} = -31{,}93$$

$$\log x = \log 2\varepsilon \sin p = 1{,}60541\, n$$
$$\log y = \log 2\varepsilon \cos p = 1{,}50420\, n$$
$$\log \operatorname{tg} p = 0{,}10121 \qquad p = 231^\circ\, 37'$$
$$\log \sin p = 9{,}89425\, n$$
$$\log 2\varepsilon = 1{,}71116$$
$$2\varepsilon = 51{,}4''.$$

Berechnung
einer Excentricitätstabelle für den Sextanten Haecke K. M. 87, aus den nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelten Grössen.

$p = 231° 37'$ $\sin p = -0,784$ $2\varepsilon = 51,4$

$2a$	a	$(a-p)$	$\sin(a-p)$	$\sin(a-p)+\sin p$	$2\varepsilon\{\sin(a-p)+\sin p\}$
10°	5°	− 226° 37′	+ 0,727	− 0,057	− 3″
20°	10°	− 221° 37′	+ 0,664	− 0,120	− 6″
30°	15°	− 216° 37′	+ 0,596	− 0,188	− 10″
40°	20°	− 211° 37′	+ 0,524	− 0,260	− 13″
50°	25°	− 206° 37′	+ 0,448	− 0,336	− 17″
60°	30°	− 201° 37′	+ 0,368	− 0,416	− 21″
70°	35°	− 196° 37′	+ 0,268	− 0,498	− 26″
80°	40°	− 191° 37′	+ 0,201	− 0,583	− 30″
90°	45°	− 186° 37′	+ 0,115	− 0,669	− 34″
100°	50°	− 181° 37′	+ 0,028	− 0,756	− 39″
110°	55°	− 176° 37′	− 0,059	− 0,843	− 43″
120°	60°	− 171° 37′	− 0,146	− 0,930	− 48″

Die Excentricitätstabellen stimmen fast vollkommen überein, und es ergiebt sich hieraus, dass diese Methode trotz der etwas grösseren Rechnung die vortheilhafteste ist. Die Rechnung wird noch vereinfacht, wenn bei Excentricitätsbestimmungen immer dieselben Winkel gemessen werden; man hat dann nur nöthig $[db]$ und $[dc]$ zu berechnen und kann alle übrigen Grössen aus früheren Rechnungen entnehmen.

§ 134. Die Bestimmung des Indexfehlers.

Unter Indexfehler versteht man den Werth der Ablesung am Instrument, welchen die Alhidade bei Parallelstellung der beiden Spiegel angiebt. Stehen beide Spiegel parallel, so ist derjenige Strahl, welcher auf den grossen Spiegel fällt und von diesem nach dem kleinen geworfen wird, der Fernrohraxe parallel gerichtet. Diese Stellung der Alhidade ist daher die Nullstellung, denn in dieser Stellung findet keine Winkelmessung statt. Man bestimmt diese Nullstellung auf zweierlei Art. Die eine Methode besteht darin, dass man denselben kleinen Winkel einmal zur Rechten und einmal zur Linken misst und aus der Summe der Ablesungen das Mittel nimmt, die zweite Methode darin, dass man das gespiegelte und das direkte Bild eines entfernten, scharf begrenzten Objekts zur Deckung bringt.

Für die erste Methode bedient man sich fast ausschliesslich der Sonne. Man bringt das gespiegelte Sonnenbild einmal mit dem direkt gesehenen Unterrande, das andere Mal mit dem direkt gesehenen Oberrande zur Berührung, das arithmetische Mittel der Ablesungen bei beiden Beobachtungen ist der Nullpunkt.

Ein Fehler in der Vertikalstellung von Spiegel- oder Fernrohrträger oder eine prismatische Gestalt der Spiegel ändert das erhaltene Resultat dieser Beobachtung nicht in irgend merklicher Weise, weil, wie man aus der Theorie dieser Fehler ersieht, der Einfluss auf positive wie negative kleine Winkel sehr nahe der gleiche ist.

Die zweite Methode, den Nullpunkt zu bestimmen durch Koincidenz des direkten und zweimal reflektirt gesehenen Bildes ein und desselben Punktes ist nur ausführbar, wenn beide Spiegel völlig einander parallel stehen. Ist einer der Spiegel zur Vertikalebene geneigt, so sieht man die beiden Bilder neben einander vorbeigehen, wenn man die Alhidade um Null herum bewegt. Bringt man aber beide Bilder in dieselbe Vertikallinie zur Ebene des Instruments, so ist diese Stellung ebenfalls die Nullstellung.

In entsprechender Weise bemerkt man bei fehlerhafter Stellung der Spiegel, dass zur Indexbestimmung benutzte Bilder einer geraden Linie einen Winkel mit einander bilden.

Wenn man den Indexfehler fortschaffen, also den Nullpunkt der Theilung mit dem wahren Nullpunkt der Spiegelstellung in Uebereinstimmung bringen will, so muss man den kleinen Spiegel in seiner Vertikalstellung schwenken, was bis zu einem gewissen Grade vermittelst der Korrekturschrauben des Spiegels in seinem Rahmen möglich ist (siehe S. 303). Im Allgemeinen aber zieht man es vor, diesen Betrag, welcher ohnehin durch Temperatureinflüsse und andere auf die Metallspannungen wirkende Einflüsse veränderlich ist, öfters von Neuem zu bestimmen und in Rechnung zu stellen.

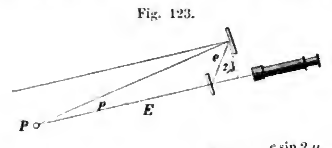
Benutzt man farbige Blendgläser bei der Bestimmung des Indexfehlers, so ist derselbe nur bei Beobachtungen mit denselben Blendgläsern streng richtig. Da aber die Beobachtung des direkt gesehenen und des gespiegelten Bildes zu anderen Zwecken selten mit so dunklen Gläsern erfolgen kann wie bei der Bestimmung der Indexkorrektion an der Sonne, so ist für diese letztere Beobachtung ein farbiges Glas dem Fernrohr beigegeben, welches vor das Okular geschraubt wird. Die etwaigen Fehler dieses Glases haben keinen Einfluss auf das Resultat der Messung.

§ 135. Beobachtung von Winkeln zwischen nahen Objekten.

Die Bestimmung der Indexkorrektion setzt voraus, dass das hierzu beobachtete Objekt entfernt genug ist, um die von demselben auf den grossen und auf den unbelegten Theil des kleinen Spiegels fallenden Strahlen als parallel anzusehen, also mit anderen Worten, dass die Entfernung im Verhältniss zum Abstande beider Spiegel von einander überaus gross ist. Trifft dies nicht mehr zu, so ist eine Korrektion auf die Beobachtung anzuwenden gleich dem Winkel am Objekt zwischen grossem und kleinem Spiegel. Man nennt diesen Winkel die Parallaxe des Objekts.

Bezeichnet in Figur 123 e die Entfernung des grossen und des kleinen Spiegels von einander, $2\beta = 2\mu$ den Winkel zwischen einfallendem und reflektirtem Strahl am kleinen Spiegel, so ist der parallaktische Winkel p aus zwei Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks bestimmt, wie aus der Fig. 123 sofort ersichtlich. Es ist

Fig. 123.



$$\operatorname{tg} p = \frac{e \sin 2\mu}{E + e\cos 2\mu},$$

worin $e \cos 2\mu$ zu vernachlässigen ist.

Ueber die Bestimmung von μ siehe S. 315. Für $E = 1000$ m erhält man etwa $p = 10''$. Es ist daher als Regel festzuhalten:

Bei Winkelmessungen mit Reflexionsinstrumenten darf das direkt gesehene Objekt nicht weniger als ca. 1500 m vom Beobachter entfernt sein. Die Entfernung des Objekts, dessen Bild zweimal reflektirt beobachtet wird, ist gleichgültig.

§ 136. Distanzmessung mittelst des Sextanten.

Um den grossen Spiegel auf den Punkt P einzustellen, muss der grosse Spiegel um $2p$ gedreht werden. Man liest also den Winkel p unmittelbar am Instrument ab, wenn man die absolute Indexkorrektion vorher bestimmt hat. Dies bietet dann ein Mittel, die unbekannte Entfernung E mit Hülfe des Sextanten zu messen.

In der Praxis ist eine solche Distanzbestimmung aber werthlos, weil der Abstand $e \sin 2\mu$ viel zu klein ist, um als Basis einer Winkelmessung zu dienen, welche mittelst des Sextanten ausgeführt werden soll. Denn Winkel unter 10′ sind wegen der Fehler, die solchen Winkeln anhaften können, zu vermeiden, und ein Winkel von 10′ giebt eine Distanz E von etwa 17 m bei der geringen Grösse von e (etwa 1 dm) der üblichen Sextanten.

Dagegen ist das Princip der Distanzmessung beachtenswerth, da es einer grossen Zahl von Konstruktionen diesem Zweck gewidmeter Instrumente zu Grunde liegt und am vollständigsten die Aufgabe löst, durch einfaches Anvisiren eines einzelnen Punktes die Entfernung desselben zu bestimmen.

Aber auch ein Instrument, bei welchem die Auseinanderstellung der Spiegel rechtwinklig zur Absehlinie 0,5 m beträgt, ergiebt für einen Winkel $c = 10'$ erst 172 m Entfernung. Die Vervollkommnung des Instruments muss also immer wieder darauf gerichtet sein, sehr kleine Winkel mit Genauigkeit messbar zu machen. Indem man dies zu erreichen sucht, gehen dem Distanzmesser durch Verfeinerung der Konstruktion die Eigen-

schaften der Einfachheit und Widerstandsfähigkeit verloren, welche für den praktischen Gebrauch gefordert werden müssen. Aus diesen Gründen ist es bis jetzt nicht gelungen, einen anerkannt brauchbaren Distanzmesser nach dem Princip des Sextanten zu konstruiren.

§ 137. Reparaturen etc. an Spiegelinstrumenten.

Die grossen Fehler, welche man zuweilen bei Sextanten findet, sind in den meisten Fällen bei Gelegenheit von Reparaturen herbeigeführt, welche von Mechanikern bewirkt worden sind, die sich mit dem Bau solcher Instrumente selber nicht befassen und die Details der Konstruktion nicht kennen. Nur so erklärt es sich, dass man bei Instrumenten, welche ursprünglich aus renommirten Werkstätten stammen, stark prismatische, unebene Spiegel mit schlechter Belegung und Fehlern in der Form des Theilkreises oder in den farbigen Gläsern etc. findet, welche bei der Neuanfertigung sicherlich nicht unbemerkt geblieben wären. Für Instrumente, welche im Auslande reparirt worden sind, ist es daher besonders wichtig, die in Vorstehendem besprochenen Prüfungen vorzunehmen.

Immer aber ist der Mechaniker davon abzuhalten, dass er dem Instrument durch Auflackiren einen Glanz der Neuheit giebt, welcher häufig durch das dabei angewandte Erwärmen des Instrumentenkörpers etc. erzeugte und äusserlich schwer erkennbare Fehlerquellen im Gefolge haben kann.

Die gewöhnliche Reinigung und auch eine Korrektur des Instruments, wenn es durch einen Fall oder Stoss leicht beschädigt worden ist, kann ohne Hülfe eines Mechanikers ausgeführt werden. Jedoch hüte man sich, an Reinigung zu viel zu thun, und halte als Regel fest, dass Korrektionsschrauben nur im Fall wirklicher Nothwendigkeit gerührt werden.

Eine ohne besondere Schwierigkeit auszuführende Manipulation ist das Neubelegen eines Spiegels. Da eine solche nicht selten auszuführen wünschenswerth erscheinen kann, so soll das Verfahren in Kürze beschrieben werden.

Man braucht dazu Zinnfolie (womöglich etwas stärker als das gewöhnlich zur Disposition stehende Stanniol), reines Quecksilber und einen Haarpinsel.

Zunächst wird der zu belegende Spiegel gründlich gereinigt, damit sich keine Spur von Fettigkeit an seiner Oberfläche befindet (also mit Hülfe von Weingeist oder dergl.).

Ein Stück Zinnfolie, etwas grösser als der zu belegende Spiegel, wird auf eine ebene Unterlage (welche aber nicht glatt polirt sein darf) ausgebreitet und mit dem Finger mit einigen Kügelchen Quecksilber angerieben. Darauf giesst man das reine Quecksilber auf die Fläche so reichlich, dass die Fläche damit etwa 2 bis 3 mm hoch bedeckt ist.

Die Oberfläche des Quecksilbers wird mit dem Pinsel noch einmal abgefegt, so dass sie eine ganz reine Spiegelfläche zeigt. Ein Streifen weisses, nicht sehr starkes Papier von der Breite des Spiegels, aber länger, wird nunmehr auf die Quecksilberfläche gebreitet und das Glas darauf gelegt. Während man durch sanften Druck das Glas in seiner Lage hält, zieht man das Papier zwischen Glas und Quecksilber heraus und erreicht so eine letzte Reinigung und möglichst innige Berührung von Glas- und Quecksilberfläche. Das rund um das Glas hervorgequollene Quecksilber entfernt man mittelst des Haarpinsels und lässt dann das Glas auf dem Quecksilber etwa 18 Stunden in etwas geneigter Lage leicht beschwert ruhig liegen. Nach Verlauf dieser Zeit ist die Belegung des Spiegels so fest geworden, dass man den Spiegel aufnehmen und die überstehende Zinnfolie nun abschneiden kann.

Mit einer Lösung von Siegellack in Weingeist bestreicht man dann die Belegung rundum und schliesst auf diese Weise das zwischen Zinnfolie und Glas befindliche Quecksilber luftdicht ab. Bei diesem Verfahren bleibt ziemlich viel Quecksilber auf der Folie. Dies hat den Zweck, ein zu baldiges Mattwerden des Spiegels durch Verdunsten des Quecksilbers zu verhindern, da die Spiegel der Reflexionsinstrumente nicht wie andere vor dem schädlichen Einfluss der direkten Sonnenstrahlen geschützt werden können.

Die Reinigung der Spiegel geschieht mittelst eines Haarpinsels, nur wenn sie feucht geworden sind mittelst eines weichen Lederlappens.

Ebenso verfährt man bei Reinigung des Limbus. Eine Oxydschicht wird von dem Silber durch Abwischen mit wenig Oel und weicher Holzkohle entfernt. Unreinigkeiten vom Instrumentenkörper werden durch trockenes Abreiben mit Leinwand oder weichem Leder entfernt. Niemals dürfen andere Putzmittel bei dem Instrument zur Anwendung gelangen.

§ 138. Terrestrische Winkelmessung.

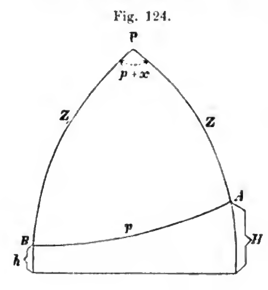
Zur Messung terrestrischer Winkel sind Reflexionsinstrumente weniger geeignet, da es sich hier in der Regel darum handelt, Azimutalwinkel zu bestimmen.

Aus dem mit dem Instrument gefundenen Winkel zwischen zwei Punkten muss daher erst der Winkel zwischen den Vertikalen dieser Punkte errechnet werden. Hierzu ist erforderlich, die Höhen dieser Punkte zu kennen, und wenn diese klein sind, so kann man sie mit dem Sextanten nicht mehr bestimmen. (Mit Hülfe des künstlichen Horizonts misst man nicht kleinere Winkel als 15°.) Die Korrektion des Sextantenwinkels zu einem Azimutalwinkel nennt man die Reduktion auf den Horizont.

Reduktion des Sextantenwinkels auf den Horizont.

Wenn ein Winkel mit dem Sextanten gemessen ist zwischen zwei Punkten A und B (Fig. 124), deren Höhen H und h sind, so entspricht $AB = p$, die dritte Seite des sphärischen Poldreiecks APB dem gemessenen Winkel, der Winkel am Pol $P = p + x$ dem Winkel zwischen den beiden Vertikalkreisen von A und B, also dem im Horizont gemessenen Winkel, und es ist:

Fig. 124.



$$\cos p = \sin H \sin h + \cos H \cos h \cos (p + x).$$

Löst man diese Gleichung auf, setzt $\cos x = 1$ und $\sin x = x \sin 1''$, so erhält man den Ausdruck für die Reduktion x des Sextantenwinkels auf den Horizont

$$x = \frac{\sin^2 \frac{H+h}{2} \operatorname{tg} \frac{1}{2} p - \sin^2 \frac{H-h}{2} \operatorname{ctg} \frac{1}{2} p}{\cos H \cos h \sin 1''}.$$

In diesem Ausdruck ist $\cos H \cos h$ wegen des kleinen Betrages von x in der Regel $= 1$ zu setzen. In Tabelle I und II am Schluss dieses Abschnitts sind die beiden Glieder dieses Ausdrucks in einer für die Anwendung bequemen Form zusammengestellt.

Die Tabelle I giebt mit dem Argument $H \pm h$ die Grösse

$$10\,000 \sin^2 \frac{H \pm h}{2}$$

und die Tabelle II giebt mit dem Argument $\frac{1}{2} p$ die beiden Grössen

$$\frac{0{,}0001}{\sin 1''} \operatorname{tg} \frac{1}{2} p \text{ und } \frac{0{,}0001}{\sin 1''} \operatorname{ctg} \frac{1}{2} p.$$

Beispiel.

Es sei mit dem Sextanten gemessen der Winkel zwischen

A und $B = p = 65° 30' \; 0''$
Für A die Höhe $H = \;\; 5° \;\; 6' 10''$
Für B die Höhe $h = \;\; 1° 14' 20''$
$= \;\; 6° 20' 30''$

Mit $H + h$ findet man in Tafel I		30,60	
Mit $\frac{1}{2} p = 32° 45' \; 0''$ in Tafel II	+	13,26 (tang)	
Produkt		— 405,76	+ 405,76
$H - h = \;\; 3° 51' 50''$ in Tafel I		11,36	
$\frac{1}{2} p = 32° 45' \; 0''$ in Tafel II	—	32,07 (cotg)	
Produkt		— 364,31	— 364,31
			$x = + \;\; 41,45$

$p = \;\; 65° 30' \;\; 0''$
$x = + \qquad\quad 41{,}5''$
$P = \;\; 65° 30' 41{,}5''$.

Diese Tafeln sind besonders bequem, wenn man behufs Prüfung eines Sextanten die mit demselben erhaltenen Messungen mit denen eines Theodolithen vergleicht.

Für grosse Höhen und feine Messungen hat man die bekannte Formel der sphärischen Trigonometrie (Fig. 124):

$$\sin^2 \tfrac{1}{2} P = \frac{\sin \tfrac{1}{2}(s - z + z_1) \sin \tfrac{1}{2}(s - z_1 + z)}{\sin z \sin z_1}.$$

§ 139. Abweichende Konstruktion einzelner Theile.

1. Visirvorrichtung bei Oktanten.

Bei einfachen Oktanten hat man statt oder neben dem Fernrohr und Diopterrohr eine Klappe für den Fernrohrring, in welchem zwei Visirlöcher angebracht sind, der Fernrohrträger ist dann nicht verschiebbar, sondern fest. Das eine Loch befindet sich genau in derselben Höhe über der Instrumentenebene, in welcher die Quecksilberbelegung des kleinen Spiegels abschneidet; das andere Loch in derselben Höhe mit der Mitte des unbelegten Theiles dieses Spiegels. Dieses letztere Loch hat noch ein kleines dunkles Vorschlagglas. Die Beobachtungen werden durch das der Instrumentenebene nähere Loch angestellt bei terrestrischen und Sternbeobachtungen, da man bei diesen das doppelt reflektirte Bild allein im Spiegel erkennen kann. Das entferntere Loch ist für Beobachtungen der Sonne bestimmt, deren Spiegelbild man im unbelegten Theil des Spiegels erblickt. Wenn man dies nicht beachtet, müssen nothwendig erhebliche Messungsfehler entstehen. Das kleine Vorschlagglas wird für die Bestimmung des Indexfehlers an der Sonne gebraucht, um die Fehler der Blendgläser bei dieser Bestimmung zu vermeiden.

2. Limbus mit Theilung auf Elfenbein.

Statt des Silberstreifens wird bei einfachen Instrumenten oft Elfenbein für die Theilung des Limbus benutzt. Dies geschieht nicht allein aus Gründen der Sparsamkeit. Elfenbein hat den Vortheil, dass sich die geschwärzten Theilstriche sehr scharf abheben und die Ablesung deshalb die Augen sehr viel weniger anstrengt als Silbertheilung. Namentlich für Winkelmessungen, welche stundenlang fortgesetzt werden (Abstandsbestimmungen durch Höhenwinkel, Winkelmessung bei Lothungen), ist dieser Vortheil so wesentlich, dass man dafür den Nachtheil der Ungenauigkeit mit in den Kauf nimmt.

Wegen der Struktur des Elfenbeins ist es nicht möglich, eine so feine Theilung auf diesem Material auszuführen wie auf Silber; indessen würde die zu erreichende Genauigkeit immer für die meisten Zwecke hinreichen. Der grosse Nachtheil des Elfenbeins liegt aber darin, dass Aenderungen der Temperatur, welche auf Silber und Messing nahezu

gleich wirken, Elfenbein und Messing in sehr verschiedener Weise beeinflussen und dadurch eine innige Verbindung des Limbusstreifens mit dem Instrument nicht in vollkommener Weise gestatten.

3. Sextantenkörper.

Um das Gewicht der Instrumente so gering wie möglich zu machen, hat man Sextantenkörper aus Aluminium hergestellt. Dadurch ist bei einem Sextanten gleicher Dimension das Gewicht von 1,25 kg auf 0,25 kg herabgesetzt.

Der höhere Preis*) und das unscheinbare Aussehen des in salziger Luft sehr rasch verwitternden Materials hat einer Verbreitung dieser für viele Zwecke sehr bequemen Sextanten stets hindernd entgegengestanden.

Die Theilung ist bei den Aluminiumsextanten auf Silber ausgeführt, auch sind sonst keinerlei Abweichungen in der Konstruktion vorgenommen.

§ 140. Der Oktant mit Registrirtrommel.

Da eine Anzahl von Instrumenten mit dieser Vorrichtung sich auf Schiffen der Kaiserlichen Marine in Gebrauch befindet, so soll auf diese Konstruktion im Nachstehenden näher eingegangen werden:

Das Instrument unterscheidet sich von den gewöhnlichen Oktanten nur durch Hinzufügung einer Registrirvorrichtung.

Auf der Tangentenschraube ist in der Nähe des zum Drehen bestimmten Kopfes eine Trommel mit zehn Einschnitten befestigt und an der Alhidade eine Feder, welche beim Drehen der Schraube in diese Einschnitte einspringt. Ausserdem sind dem Instrumente zwei Messingklemmen beigegeben, die auf den Limbus passen und beim Beobachten mit dieser Vorrichtung dazu dienen, die erste Einstellung der Alhidade anzuzeigen.

Diese Vorrichtung hat den Zweck, eine Anzahl von Höhen zu beobachten, ohne dieselben nach jeder Berührung der Bilder ablesen zu müssen, was besonders des Nachts sehr bequem ist, da das Auge von dem Laternenlichte beim Ablesen geblendet wird.

Das Beobachten mit diesem Instrumente geschieht in folgender Weise:

Nachdem die Messingklemmen auf den Limbus aufgestreift sind, bringt man das gespiegelte Bild wie gewöhnlich zur Berührung, aber, während die Alhidade verschoben wird, ist gleichzeitig die Klemme (mit dem Daumen der linken Hand) vorwärts zu schieben und stets mit der Alhidade in Kontakt zu halten. — Sobald die Bilder beinahe zusammengebracht sind, setzt man die Schraube der Alhidade und die der Klemme gleichzeitig fest und wartet jetzt den Augenblick der Berührung ab. Man erhält so die erste Beobachtung.

Dann werden die Bilder von einander getrennt, indem man die Tangentenschraube schnell um einen oder zwei Trommeltheile, wie es für die Zwischenzeit am passendsten ist, bewegt.

*) 300 Mark gegen 240 Mark bei gewöhnlichem Körper aus Rothguss.

Die zweite Berührung der Bilder ist Beobachtung No. 2, und so verfährt man während der ganzen Reihe.

Da nun durch die Klemme die Einstellung der ersten Beobachtung markirt und der Werth eines jeden Trommeltheils, wie später gezeigt werden wird, bekannt ist, so ist auch die Einstellung jeder weiteren Beobachtung bekannt und ein Anschreiben der Höhen nicht erforderlich.

Ist nur die letzte Beobachtung abgelesen, so addire resp. subtrahire man die halbe Anzahl der Beobachtungsintervalle $\left(\frac{n-1}{2}\right)$, multiplicirt mit dem Werth eines Trommeltheils, zu bezw. von der Ablesung, um das Mittel aller gemessenen Höhen zu erhalten; z. B.: Es sind elf Beobachtungen östlich vom Meridian gemacht und der Zeit nach notirt, aber nur die letzte Höhe $= 29^\circ\, 24'\, 30''$ abgelesen; subtrahirt man hiervon den Werth von fünf Trommeltheilen — der Werth eines Trommeltheils beträgt $1'\, 35.455''$, mithin $5 \times 1'\, 35{,}455'' = 7'\, 57''$ —, so erhält man das Mittel aller Beobachtungen $= 29^\circ\, 16'\, 33''$.

Das letztere Verfahren ist deshalb vorzuziehen, weil dann die Beobachtungen auch ohne Klemmen auf dem Limbus gemacht werden können.

Benutzt man jedoch die Klemmen, so ist darauf zu achten, dass dieselben auch wirklich die erste Beobachtung anzeigen, wovon man sich in folgender Weise überzeugen kann.

Sind Alhidade und Klemme zusammen vor- oder rückwärts bewegt und beide festgeklemmt, so liest man den Stand der ersteren ab, verschiebt dann die Alhidade, bringt dieselbe wieder an die Klemme und liest die Angabe des Nonius wieder ab.

Bestimmung des Werthes der Trommeltheile.

Man klemmt die Alhidade mit weit herausgedrehter Tangentenschraube an irgend einer Stelle des Limbus fest und lässt die Feder in den mit *O* bezeichneten Trommelstrich einspringen. Darauf liest man ab und notirt diese Ablesung als No. 1. Dann wird die Schraube weitergedreht, bis der Nullstrich wieder einspringt, und abgelesen. Dies ist Ablesung No. 2, und so verfährt man, bis beinahe die ganze Schraube hineingedreht ist. Man kann dann die Ablesungen in umgekehrter Reihenfolge nochmals wiederholen, wobei aber die erste Trommelumdrehung nicht berücksichtigt werden darf, weil dieselbe mit todtem Gang behaftet ist.

Die Unterschiede 1 und 2, 2 und 3 u. s. w. sind der Werth einer ganzen Trommelumdrehung, und es ist klar, dass diese Unterschiede nicht erheblich von einander abweichen dürfen, wenn der Schraubengang der Tangentenschraube gleichmässig ist. Anderenfalls muss die Schraube verworfen werden.

Den Werth eines Trommeltheils erhält man, indem man das Mittel aller Unterschiede nimmt und dieses durch 10 dividirt, wie aus nebenstehendem Beispiel zu ersehen ist.

Man kann das Instrument auch wie ein gewöhnliches ohne Registrirvorrichtung benutzen.

Zu diesem Zwecke befindet sich an der Vorrichtung ein Keil, mittelst dessen die Feder an der Alhidade von der Trommel abgehoben werden kann. Ist die Feder abgestellt, so dreht sich die Trommel frei mit der Tangentenschraube, ohne die Beobachtungsweise zu beeinflussen.

Oktant Haecke 165. K. M. 122.

Vorwärts	Differenz	Rückwärts	Differenz
29° 8' 30"		8' 30"	
24' 0"	15' 30"	24' 30"	16' 0"
40' 0"	16' 0"	40' 30"	16' 0"
56' 0"	16' 0"	29° 56' 15"	15' 45"
30° 11' 45"	15' 45"	12' 15"	16' 0"
27' 30"	15' 45"	28' 0"	15' 45"
43' 30"	16' 0"	44' 0"	16' 0"
59' 30"	16' 0"	30° 59' 45"	15' 45"
31° 15' 0"	15' 30"	15' 30"	15' 45"
31' 0"	16' 0"	31' 45"	16' 15"
47' 0"	16' 0"	31° 47' 30"	15' 45"
32° 3' 0"	16' 0"	3' 30"	16' 0"
19' 0"	16' 0"	19' 30"	16' 0"
35' 15"	16' 15"	35' 30"	16' 0"
51' 30"	16' 15"	32° 52' 0"	16' 30"
33° 8' 0"	16' 30"	8' 0"	16' 0"
23' 45"	15' 45"	24' 0"	16' 0"
39' 30"	15' 45"	39' 30"	15' 30"
55' 15"	15' 45"	33° 55' 30"	16' 0"
34° 11' 0"	15' 45"	11' 45"	16' 15"
27' 0'	16' 0"	27' 45"	16' 0"
43' 0"	16' 0"	34° 43' 30"	15' 45"
58' 30"	15' 30"		
	Mittel = 15' 54,55"		Mittel = 15' 54,55"

dividirt durch 10

= 1' 35,455" = 1'35,455"

Werth eines Trommeltheils = 1' 35,455".

§ 141. Sextanten für Nachtbeobachtungen.

Für Höhenbeobachtungen von Gestirnen über dem nächtlichen Horizont liegt die Schwierigkeit in der Undeutlichkeit des Horizonts. Die zur Abhülfe dieses Uebelstandes ersonnenen Konstruktionen streben nun dahin 1) den Horizont deutlicher sichtbar zu machen, 2) das Bild des Sterns so sichtbar zu machen, dass man die Berührung desselben auch an einem sehr lichtschwachen Objekt leichter erkennt. Das erste erreicht man durch Anwendung geeigneter Fernrohrkonstruktionen (siehe Seite 8), das zweite durch Veränderung des doppelt reflektirten Sternbildes, indem man dasselbe entweder durch Einschaltung einer cylindrischen Linse in horizontaler Richtung zu einer Linie aus einander zieht oder durch ein doppeltbrechendes Prisma zwei Sterne auf dem kleinen Spiegel erscheinen lässt, zwischen denen die Linie des Horizonts beobachtet wird.

Im Folgenden sollen zwei solche Instrumente beschrieben werden.

Das Instrument nach der Konstruktion von Laurent ist ein einfacher Oktant mit Theilung auf Elfenbein, an welchem die farbigen Gläser fortgelassen sind und der kleine Spiegel ganz belegt ist. An Stelle der Blendgläser befindet sich eine Linse zwischen grossem und kleinem Spiegel, welche in einem Charnier drehbar ist und nur für Sternbeobachtungen gebraucht, für Mondbeobachtungen aber zurückgeschlagen wird. Diese Linse hat eine cylindrische Krümmung senkrecht zur Ebene des Instruments; der dieser Ebene parallele Querschnitt derselben ist in Fig. 125 veranschaulicht.

Das direkt gesehene Bild wird wegen des grossen Fernrohrobjektivs neben und zu beiden Seiten des Spiegelbildes gesehen.

Das Galileische Fernrohr des Instruments hat folgende Dimensionen:

Durchmesser des Objektivs	54 mm
Länge des ausgezogenen Fernrohrs . . .	190 mm
Vergrösserung	5.

Es besteht nur aus einer einfachen Objektiv- und einer Okularlinse.

Das Urtheil über dieses Instrument geht nach Erfahrungen in der französischen Marine dahin, dass man mit demselben leicht auf zwei bis drei Minuten genau beobachten könne, wenn für eine gewöhnliche Beobachtung der Horizont nicht mehr unterschieden werden kann. Dieser Vortheil wird hauptsächlich durch das grosse Objektiv des Fernrohrs erreicht.

Auf diese Erfahrungen hin ist von Fleuriais die Anwendung eines astronomischen Fernrohrs von ähnlichen Dimensionen vorgeschlagen. In der That ist kein Grund vorhanden, das Princip der sogenannten Kometensucher nicht auch hier für Nachtbeobachtungen anzuwenden. Fleuriais giebt seinem Sextantenfernrohr folgende Dimensionen:

Durchmesser des Objektivs	40 mm
Länge des ausgezogenen Fernrohrs . . .	216 mm
Vergrösserung	5.

Statt der Cylinderlinse schaltet er ein doppeltbrechendes Prisma zwischen grossem und kleinem Spiegel so ein (Fig. 125), dass das Bild des Sterns in der Vertikalen verdoppelt erscheint. Der Horizont ist dann zwischen diese beiden Sternbilder, deren Auseinanderstellung bekannt ist, zu bringen.

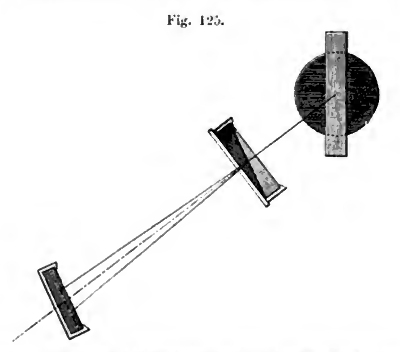
Sextanten mit Niveau.

Man hat versucht, die Höhenbeobachtungen mittelst des Sextanten von der Sichtbarkeit des Horizonts unabhängig zu machen.

Unter dem Fernrohr wird z. B. ein Niveau angebracht mit einer kleinen Blase, welche durch einen geneigten Spiegel in die Richtung der Fernrohraxe reflektirt wird. Bringt man dann das Gestirn und die Luftblase gleichzeitig an einen im Fernrohr ausgespannten Faden, so misst man die Höhe des Gestirns direkt über der Horizontalebene des Fernrohrs.

Eine andere Konstruktion geht darauf aus, durch einen schweren Pendel eine Vertikalebene zu fixiren. Auf diesem Pendel wird ein kleiner

Fig. 125.



Spiegel befestigt und durch das Spiegelbild einer am Sextanten angebrachten Visirmarke die Horizontallinie festgestellt.

Die Schwierigkeit einer gleichzeitigen Beobachtung mehrerer gespiegelter Objekte von verschiedenster Entfernung bei gleichzeitiger Festhaltung der Vertikalebene des Instruments steht der praktischen Verwendung solcher Vorrichtungen entgegen.

II. Reflexionskreise.

§ 142.

Die bisher besprochenen Reflexionsinstrumente leiden an dem Uebelstande, dass der Einfluss der Excentricität der Alhidade nicht vermieden werden kann. Dies lässt sich nur bei Instrumenten mit vollständigen Kreisen erreichen, bei welchen die Alhidade mit zwei diametral gegenüberliegenden Ablesevorrichtungen versehen ist.

Es bezeichnen in Fig. 126 C den Mittelpunkt des Theilkreises, A den Drehpunkt der Alhidade, $O\,A\,O'$ die Nullstellung, $p\,A\,p'$ eine beliebige Einstellung der excentrischen Alhidade, dann ist α der gemessene, m der abgelesene Winkel. Liest man aber ausser m noch den Winkel m' ab am gegenüberstehenden Arm p' der Alhidade, so hat man

$$\alpha = \frac{m}{2} + \frac{m'}{2}.$$

Es ist nämlich:

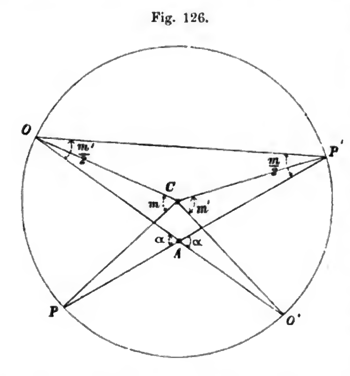
$$\angle O = \frac{m'}{2} \text{ (Peripheriewinkel)}$$

$$\angle p' = \frac{m}{2} \quad "$$

$$\alpha = \angle O + \angle p' \text{ (Aussenwinkel).}$$

Durch die Ablesung zweier gegenüberstehender Nonien wird also der Excentricitätsfehler vollständig eliminirt. Dabei ist es nicht einmal erforderlich, dass die Verbindungslinie der beiden Indices $O\,O'$ genau durch den Drehpunkt A geht. Eine geringe Abweichung durch Verbiegung der Alhidade oder ein konstanter Fehler des Indexstriches würde ohne bemerklichen Einfluss bleiben.

Fig. 126.



Wenn also die Ablesung zweier Nonien von einander abweicht, so ist diese Abweichung vollkommen unschädlich, sobald beide Nonien abgelesen werden.

Dies ist der wichtige Vortheil, welchen Kreise im Allgemeinen vor Sextanten voraus haben. Dieser Vortheil ist so erheblich, dass Sextanten kaum noch als wissenschaftliche Instrumente im engeren Sinne angesehen werden können, vielmehr als solche durch die Kreise vollständig verdrängt sind.

Dagegen sind die Kreise den Sextanten in Bezug auf Grösse des zu messenden Winkels nicht überlegen, wie aus dem Grundprincip der Reflexionsinstrumente folgt. Andere Vortheile, welche mit Reflexionskreisen verbunden sind, wie die Helligkeit der Spiegelbilder bei Prismenkreisen und die Anwendung der Repetition von Borda, sind weniger entscheidend für den Vorzug der Kreise. Die Vortheile des Sextanten bestehen in grösserer Deutlichkeit der Theilung und Leichtigkeit des Instruments.

Ein Sextant, welcher geprüft und fehlerfrei befunden ist, wird im Allgemeinen für nautische Zwecke noch immer vorgezogen, während für Messungen am Lande, wenn grössere Instrumente mit fester Aufstellung nicht anwendbar sind, ausschliesslich Kreise in Anwendung kommen.

§ 143. Theorie der Prismen-Instrumente.

Die Anwendung eines Glasprismas als Spiegel gründet sich auf folgender Betrachtung:

Das Brechungsverhältniss der Luft zu Glas ist ungefähr 3 : 2, d. h. es ist (Fig. 127) $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2}$.

Wenn $\alpha = 90°$, so ist $\sin \beta = {}^2/_3$ und β nahe 42°. Trifft also ein im Glase fortschreitender Lichtstrahl $A\,B$ so schräg auf die Glasfläche, dass β grösser als 42° wird, so tritt er gar nicht mehr aus dem Glase aus, sondern erleidet an dieser Fläche eine regelmässige Reflexion. Diese Art der Reflexion bezeichnet man als **totale Reflexion** zum Unterschiede von der theilweisen Reflexion, welche ein unter dem Winkel α austretender Lichtstrahl an der Grenzfläche erleidet (Fig. 127).

Fig. 127.

Ein gleichseitig rechtwinkliges Prisma von normalen Seitenflächen wird daher mit Vortheil als Spiegel verwendet, wenn es sich um Winkel handelt, welche grösser als ein rechter sind.

Gang der Lichtstrahlen im gleichseitig rechtwinkligen Prisma.

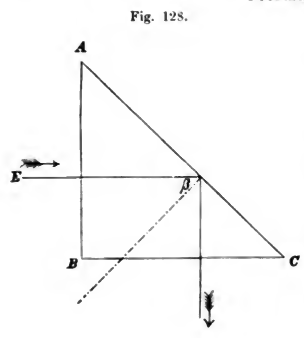


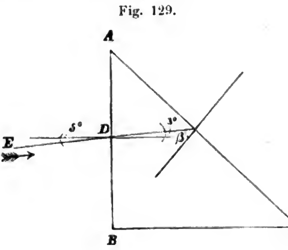
Fig. 128.

1. Trifft ein Lichtstrahl auf die Kathetenfläche eines solchen Prismas **rechtwinklig** auf, so geht er ungebrochen in das Glas hinein und bildet an der Hypotenusenfläche mit dem Einfallsloth den Winkel $\beta = 45°$. Er wird also total reflektirt und tritt, um 90° von der Richtung des Eintrittsstrahls gebrochen, aus der anderen Kathetenfläche aus (Fig. 128).

2. Trifft der Lichtstrahl die erste Kathetenfläche unter einem Winkel, welcher nach

der rechteckigen Kante des Prismas spitz ist, so wird β kleiner. β darf aber nicht kleiner werden als 42°, wenn eine totale Reflexion stattfinden soll. Der Winkel $A\,D\,E$ darf daher nicht grösser werden als etwa 95° (Fig. 129).

Fig. 129.



3. Ist dagegen der Winkel $A\,D\,E$ kleiner als 90°, so wird β immer grösser als 45°, und der Lichtstrahl E' tritt immer unter demselben Winkel zur Hypotenuse aus, unter welchem der Strahl E eingetreten ist, da immer bleibt $\angle\, E\,D\,A = \angle\, E'\,F\,C$ (Figur 130).

Fig. 130.

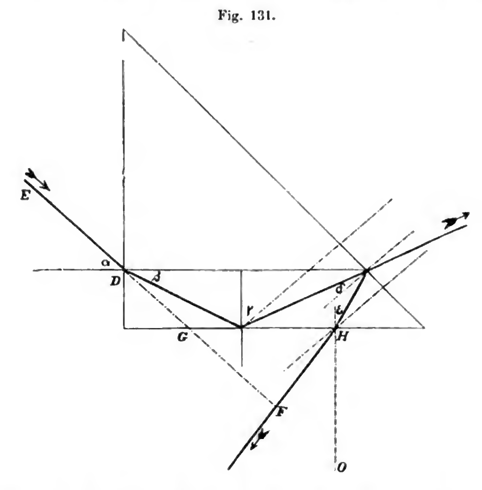
4. Trifft der Strahl E unter einem (nach der rechtwinkligen Kante) stumpfen Winkel auf die Kathete, so kann der Fall eintreten, dass derselbe gar nicht nach der Hypotenuse, sondern direkt nach der anderen Kathete hin gebrochen wird (Fig. 131). In diesem Falle findet stets eine totale Reflexion an der zweiten Kathete statt, da in Figur 131 β immer kleiner als 42°, also γ immer grösser als 48° ist. Der in D einfallende, bei γ reflektirte Lichtstrahl gelangt nun auf die Hypotenusenfläche und wird dort reflektirt. Eine totale Reflexion findet dort in der Regel nicht statt, da — wie leicht durch Konstruktion zu finden — δ nur dann grösser als 42° wird, wenn $\alpha < 5°$. Ein Theil der Strahlen gelangt also ins Freie (Fig. 131), ein Theil wird zum zweiten Mal nach der zweiten Kathete hin reflektirt und tritt aus der letzteren unter 90° von der Richtung des Eintrittsstrahles gebrochen aus.

Aus:

$$\left.\begin{aligned}\beta &= 90 - \gamma\\ \gamma &= 45 + \delta\\ \delta &= 45 - \varepsilon\end{aligned}\right\}\ \text{folgt } \beta = \varepsilon,\ \text{daher auch } \alpha = \angle\, F\,H\,O,\ \text{also } \angle\, G\,F\,H = 90°.$$

Vergleicht man diesen Fall mit dem Fall 1, so folgt, dass das Bild im Prisma eine Drehung des Prismas um seine Vertikalaxe nicht mitmacht,

Fig. 131.



sondern nur an Lichtstärke verliert. Eine Anwendung hiervon wird beim Prismenkreuz gemacht werden.

§ 144. Der Reflexionskreis von Pistor und Martins.

Dieser Kreis ist ein Winkelmessinstrument nach demselben Princip und für die gleichen Zwecke wie der Sextant. Die charakteristischen Unterschiede gegen den Sextanten bestehen in Folgendem:

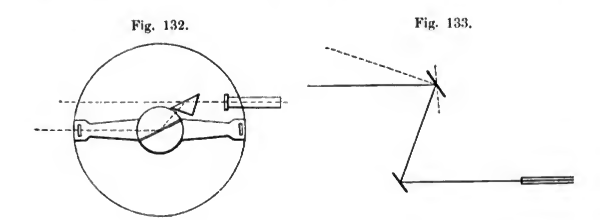
1. Die Theilung befindet sich auf einem Vollkreise, um dessen Mittelpunkt sich eine Alhidade bewegt, welche zwei um 180° von einander abstehende Nonien trägt.

2. In Stelle des kleinen Spiegels ist ein Prisma angewendet, welches sich in unverrückbarer Lage so vor dem Fernrohr angebracht befindet, dass der Weg eines Lichtstrahls durch das Fernrohr und das Prisma die vertikale Drehaxe des Spiegels (welche mit der Drehaxe der Alhidade zusammenfällt) trifft.

Für die Nullstellung ist es erforderlich, dass, wie in Figur 132 dargestellt, der drehbare Spiegel mit der Spiegelfläche im Prisma parallel sei, analog wie beim Sextanten. Dies ist beim Prismen-Instrument aber der Fall, wenn der Lichtstrahl in einem Winkel von etwa 20° auf den Spiegel auffällt.

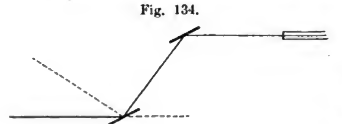
Vergleicht man die Wirkungsart eines Sextanten mit der eines Reflexionskreises, so ist hier ein sehr wichtiger Unterschied vorhanden.

Fig. 132. Fig. 133.



Bei einem Sextanten wird, wie aus Figur 133 ersichtlich, der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl mit der Spiegelebene bildet, immer kleiner, je mehr der gemessene Winkel wächst. Da durch die Zerstreuung des Lichtes desto mehr Licht verloren geht, je schräger das Licht auf den Spiegel auffällt, so ergiebt sich, dass die gespiegelten Bilder beim Sextanten bei wachsender Ablesung schwächer werden. Beim Reflexionskreise aber ist es, wie Figur 134 ergiebt, gerade umgekehrt, denn bei jeder anderen Stellung fallen die Lichtstrahlen hier weniger schief auf den Spiegel, als bei der Nullstellung, woraus in Bezug auf die Helligkeit der reflektirten Bilder ein weiterer Vortheil für die Messung grösserer Winkel hervorgeht.

Fig. 134.



Der Spiegel ist in dem Mittelpunkt der Alhidade so befestigt, dass die letztere bei der Nullstellung dem Fernrohr nahe parallel steht. Eine Drehung der Alhidade und damit des Spiegels um einen Winkel δ (Fig. 135) verkleinert den Winkel ε zwischen dem Einfallsloth und dem unveränderlichen Weg des reflektirten Lichtstrahls nach dem Prisma um einen gleichen Winkel δ. Der Winkel zwischen dem einfallenden und dem nach dem Prisma zurückgestrahlten Lichtstrahl $2\,\varepsilon$ wird so um $2\,\delta$ verkleinert, folglich zwischen der Richtung nach dem direkt gesehenen und

dem gespiegelten Bilde ein Winkel von 2 δ durch die Drehung des Spiegels um einen Winkel δ verursacht.

Dies ist dasselbe Gesetz wie beim Sextanten; es geht daraus hervor, dass auch hier die Theilung des Kreises verdoppelt werden muss (ein Grad des Kreisbogens erhält zwei Grade Theilung).

Leider ist auch die Winkelmessung des Reflexionskreises beschränkt, so dass für die Höhenmessung über dem künstlichen Horizont wenigstens

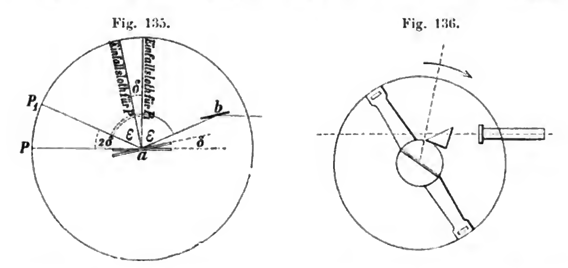


Fig. 135. Fig. 136.

gegen den Sextanten in dieser Hinsicht kein Vortheil entsteht. Aus den Figuren 136, 137 und 138 ergiebt sich nämlich Folgendes: Bei einem Winkel von 130° gelangen keine zu reflektirenden Bilder mehr in den Spiegel, von 130° bis 180° sind das Prisma und der Kopf des Beobachters

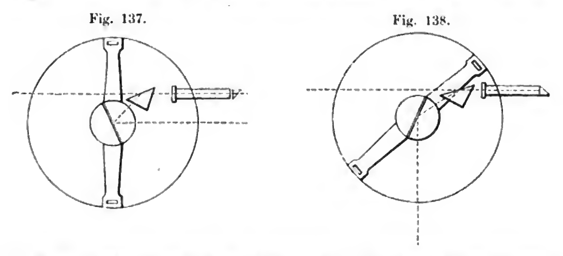


Fig. 137. Fig. 138.

im Wege. Bewegt man aber die Alhidade über 180° der Theilung hinaus, so fällt von der linken Seite des Beobachters jetzt Licht auf den Spiegel, und man misst Winkel von 180° bis 280°. Winkel von 180° bis 280° sind nun nichts Anderes als Winkel von 180° bis 80°, bei denen nur das gespiegelte Bild jetzt nicht mehr zur rechten Seite des direkt gesehenen liegt (vom Beobachter), sondern zur linken. Wenn man aber

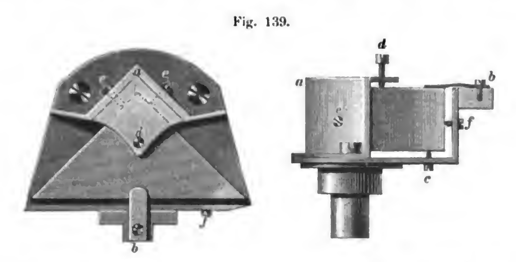
beispielsweise die Sonne nahe am Zenith über einem künstlichen Horizont messen wollte, so müsste man das Fernrohr auf die Sonne richten und als gespiegeltes Bild das Sonnenbild im künstlichen Horizont mit dem Instrument nach der direkt gesehenen Sonne hinaufbringen, eine Procedur, welche mit den üblichen Quecksilberhorizonten Schwierigkeiten haben wird. Für Monddistanzen und terrestrische Messungen ist das Verfahren dagegen anwendbar.

Beschreibung des Prismenkreises.

Die Prismenkreise nach der Konstruktion Pistor und Martins werden in zwei Grössen angefertigt und danach als grosse und kleine Prismenkreise benannt. (Grosse 26 cm Durchmesser, kleine 16 cm Durchmesser.)

a) Der grosse Prismenkreis. Ein metallener Kreis, durch sechs Speichen nach der Mitte verstrebt, trägt den Limbus. Die Theilung ist in Sechstelgraden ausgeführt, die Noniusablesung auf 10 Sekunden eingerichtet. Entsprechend der Wirkungsweise der Spiegelkombination ist eine Bezifferung der Theilung nur von 0° bis 130° und von 180° bis 290° durchgeführt. Um eine Vertikalaxe im Mittelpunkt des Kreises ist die Alhidade beweglich, welche zwei um 180° von einander stehende Nonien trägt. Die Mikrometer- und Nonienkonstruktion ist analog der des Sextanten. In der Mitte trägt die Alhidade den Spiegel, dessen Befestigungsweise und Korrektur den entsprechenden Vorrichtungen am grossen Spiegel der Sextanten entspricht. Da der Spiegel bei den kleineren Winkeln die Bilder unter sehr grossem Winkel reflektirt, so ist er sehr lang, aber nicht höher wie das Prisma. Das Prisma ruht in einer Messingfassung, welche durch einen fest verschraubten Fuss mit dem Instrumentenkörper verbunden ist. Die Fassung (Figur 139) besteht aus einer Fuss-

Fig. 139.



platte, welche an der Hypotenusenseite des Prismas rechtwinklig aufgebogen ist, und einer Blende *a* für den rechten Winkel des Prismas, welche auf der Fussplatte verschraubt ist.

Durch diese Blende und eine über die Hypotenuse greifende Zunge *b* wird das dreiseitige rechtwinklige Prisma in seiner Fassung gehalten. Zur Berichtigung der Lage des Prismas sind zwei Systeme von Korrektionsschrauben vorgesehen:

1. Zur Vertikalstellung des Prismas: Zwei Vertikalschrauben *c* parallel der Hypotenusenkanten und nahe derselben unter der Fussplatte, und eine Vertikalschraube *d* auf der Blende über dem rechten Winkel.

2. Zur horizontalen Drehung des Prismas: (Indexkorrektion) zwei kleine horizontale Schrauben *e* in der Blende, je eine auf die beiden Katheten des Prismas wirkend, eine horizontale Schraube *f* in der Aufbiegung der Fussplatte, seitlich auf die Hypotenuse des Prismas wirkend. Diese letztere Korrektion wird in neuerer Zeit fortgelassen, weil eine feste Einlagerung des Prismas in richtiger Lage grössere Garantie gegen Veränderlichkeit gewährt.

Der Fernrohrträger des Instruments ist ebenso eingerichtet wie der des Oktanten. Da es an Raum gebricht, so wird hier das Fernrohr mit seinem Objektivende in den Fernrohrträger eingeschraubt. Eine Korrektion der Fernrohrstellung durch einen verstellbaren Gewindering, wie beim Sextanten, ist nicht vorhanden. Dagegen findet sich an der Buchse des Fernrohrträgers bei Instrumenten dieser Art eine Korrektionsvorrichtung für die Vertikalstellung analog der beim kleinen Spiegel des Sextanten gebräuchlichen.

Die Blendgläser, sowohl die für das direkt gesehene, als auch die für das doppelt reflektirte Bild, befinden sich zwischen Fernrohr und Prisma an einem gemeinschaftlichen Träger, der in seiner Führung verschoben und leicht um 180° gedreht werden kann. Alle Blendgläser sind in runde Fassung eingesetzt, aber halb durchgeschnitten, so dass ein Glas, für das direkte Bild vorgeschlagen, mit einem für das doppelt reflektirte Bild vorgeschlagenen Glase sich zu einer das ganze Gesichtsfeld des Fernrohrs blendenden Fläche ergänzt.

Auf der Rückseite des Instruments ist centrisch ein Fuss mit dem Instrumentenkörper verschraubt, welcher seitlich den Handgriff trägt, ausserdem aber noch mit einer Mutter versehen ist, um das Instrument auf ein festes Stativ aufzuschrauben. (Die Mutter ist mit einer Füllschraube überdeckt.)

Auf der Instrumentenebene befindet sich ausserdem noch ein Bügel, welcher über den Spiegel greift und in der Verlängerung der Instrumentenaxe den Lupenarm, centrisch drehbar über den ganzen Theilkreis, trägt. Auf demselben Zapfen ist eine Hülse befestigt zum Einsetzen einer Beobachtungslaterne bei Nachtbeobachtungen mit dem Instrument auf festem Stativ. Eine solche Laterne ist so eingerichtet, dass das Licht nur durch zwei mit Linsen versehene Röhren auf die beiden Nonien der Alhidade geleitet, im Uebrigen aber vollständig abgeblendet wird. In der Regel wird dem Instrument eine Laterne nicht mitgegeben. Der Gebrauch einer

solchen ist auch wegen der sich entwickelnden Hitze, welche ungleichmässig auf das Instrument wirkt, nicht vortheilhaft.

Das Fernrohr der Prismenkreise ist mit einer Scheibe hinter dem Okular versehen, in welche Blendgläser verschiedener Färbung eingesetzt sind, die vor das Okular gedreht werden können.

Für Beobachtungen auf dem Stativ ist dem Fernrohr ferner ein Okularprisma beigegeben für diejenigen Beobachtungen, bei welchen der Kopf des Beobachters bei direkter Visur das doppelt zu reflektirende Bild verdecken würde.

b) Der kleine Prismenkreis hat im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie der grosse Kreis, die Nonienablesung ist hier nur auf 20 Sekunden eingerichtet. Die Blendgläser für das direkt gesehene Bild fallen fort, man ist in Stelle derselben auf die farbigen Okulargläser angewiesen. Der kleine Kreis ist in der Regel als Vollkreis konstruirt, jedoch sind auch Speichenkreise in Gebrauch, welche sich durch ihre Leichtigkeit vortheilhaft auszeichnen.

§ 145. Prüfung und Korrektur der Prismenkreise.

Die Prüfung und Korrektur der Prismenkreise erstreckt sich auf dieselben Punkte wie die der Sextanten.

Der Fehler des grossen Spiegels wird ebenso untersucht wie beim Sextanten.

Der Einfluss einer prismatischen Gestalt des grossen Spiegels ist aber ein anderer als der beim Sextanten (siehe S. 319). Der Fehler für die Nullstellung, welcher in den Indexfehler eingeht, ist:

$$2\,\gamma\sqrt{1+\frac{1{,}25}{\cos^2\mu}}.$$

Für jeden andern Winkel ist der Einfallswinkel hier kleiner als μ, und zwar um den Werth des zu messenden Winkels δ, die Korrektion wird also:

$$2\,\gamma\sqrt{1+\frac{1{,}25}{\cos^2(\mu-\delta)}}.$$

Aus diesem Umstande erhellt, dass der Spiegel des Reflexionskreises noch grösserer Sorgfalt bei der Anfertigung bedarf als der Spiegel des Sextanten, weil diejenigen Winkel, bei welchen sich der Fehler der prismatischen Gestalt bemerklich machen kann, sich innerhalb der gewöhnlich zu messenden bewegen, während beim Sextanten hauptsächlich Winkel nahe 90° und darüber beeinflusst werden.

Fehler des Prismas. Man untersucht die Vertikalstellung der Prismenkante zur Instrumentenebene ebenso wie die Stellung des kleinen Spiegels beim Sextanten, indem man die Bilder in der Nullstellung koincidiren lässt. Eine Korrektion der Vertikalstellung geschieht durch die

Schrauben *c* und *d* (Fig. 139). Lässt sich eine solche Korrektion nicht vollständig erreichen, so sind die Kathetenflächen nicht parallel und das Prisma also fehlerhaft.

Ein Fehler des rechten Prismenwinkels geht in den Indexfehler mit ein und ist bei geringem Betrage ohne Bedeutung.

III. Reflexionsinstrumente zur Bestimmung von Richtungslinien.

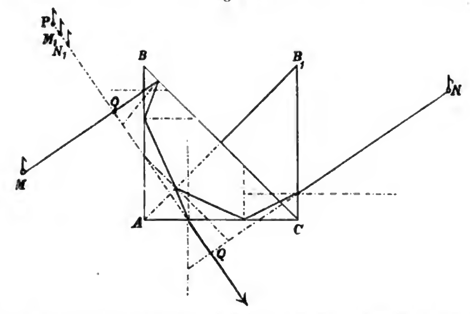
§ 146. Das Prismenkreuz.

Das Prismenkreuz ist ein Instrument, welches bestimmt ist, Winkel von 180° abzustecken, also in einer durch zwei Punkte gegebenen geraden Linie einen Zwischenpunkt einzuschalten. Zwei gleichseitig rechtwinklige Glasprismen sind so auf einander gelegt, dass ihre Hypotenusenflächen sich rechtwinklig kreuzen. Die Katheten und die Axen beider Prismen sind parallel.

Soll das Prismenkreuz ausserdem zum Abstecken rechter Winkel dienen, so ist erforderlich, dass je eine spitze Kante des einen mit der rechtwinkligen Kante des anderen in einer geraden Linie liegt. Diese letztere Konstruktion soll hier allein berücksichtigt werden. Die Wirkungsweise solcher Prismen ist bereits beschrieben worden. Man sieht, wenn man durch eine Kathete in das Prisma hineinschaut, Spiegelbilder von Objekten, welche ihr Licht unter demselben Winkel durch die andere Kathete auf die Hypotenuse gesandt haben. Wenn man nun gleichzeitig in die beiden Prismen sieht, deren Spiegelflächen unter 90° von einander abgewendet sind, so ist nothwendig, dass zwei Bilder, welche in einer vertikalen Linie über einander liegen, von zwei um 180° von einander entfernten Objekten herrühren. Entweder kommen die Lichtstrahlen senkrecht zur Kathete aus beiden Prismen in das Auge, dann sind in jede der parallelen Seitenprismen dieselben Strahlen senkrecht eingegangen, oder der Lichtstrahl aus dem einen Prisma tritt unter einem spitzen Winkel aus, dann tritt der in derselben Vertikale aus dem anderen Prisma zum Auge gelangende unter einem stumpfen Winkel aus, welcher den spitzen des ersten Prismas zu zwei rechten ergänzt. Die Eintrittswinkel beider Strahlen sind diesen Austrittswinkeln gleich, also liegen die Objekte um 180° aus einander. Es ist also nicht erforderlich, dass das Auge sich genau rechtwinklig auf die Kathetenflächen einstellt, sondern nur Bedingung, dass die beiden Objekte, in deren Verbindungslinie man eintreten will, genau vertikal über einander im Prismenkreuz erscheinen. Bei dieser Benutzung des Prismenkreuzes ist also keine Linie senkrecht auf das Alignement fixirt. Um eine solche zu erhalten, muss das Prismenkreuz auf eine andere Weise gehandhabt werden.

Unter 4 im § 143 ist der Gang eines Lichtstrahls im Prisma verfolgt worden, welcher von einer Kathete direkt zur anderen hin gebrochen wird; dabei ergab sich, dass dieser Strahl nach zweimaliger Reflexion stets unter einem Winkel von 90° zu seiner ursprünglichen Richtung wieder austritt, und dass das Bild im Prisma bei einer Drehung des Instruments um seine Vertikalaxe still steht. Sieht man also so schräg auf das Prismenkreuz, dass man die doppelt reflektirten Bilder in beiden Prismen über einander erblickt (die man daran erkennt, dass sie eine Bewegung des Instruments

Fig. 140.



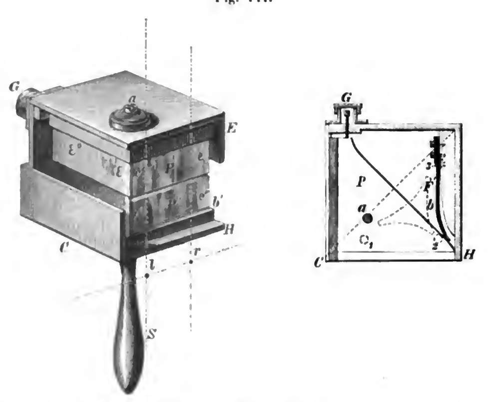
um seine Axe nicht mitmachen), so kann man in der Visirlinie des Auges durch Markirstäbe M_1 N_1 eine Linie fixiren, welche rechtwinklig auf dem Alignement $M\,N$ steht.

In der Fig. 141 ist das Prismenkreuz von Bauernfeind dargestellt, zu welchem Bauernfeind in seinem Handbuch der Vermessungskunde die folgende Erläuterung giebt:

Das untere Prisma P' ruht in dem Gehäuse auf einer federnden Platte b' und ist daselbst durch drei Schräubchen 1, 2, 3 festgehalten. Durch Anziehen und Nachlassen dieser Schräubchen kann dieses Prisma im vertikalen Sinne berichtigt, d. h. es kann seine Axe zu der des oberen Prismas P parallel gestellt werden. Dieses zweite Prisma ist durch die auf einen federnden Ring drückende Schraube a, welche in die Fassung von P eingreift, gehalten, jedoch nur so fest, dass es noch durch das in der Kapsel G befindliche Schräubchen, dem die Stahlfeder b entgegenwirkt, im horizontalen Sinne so weit gedreht werden kann, als nöthig ist, die entsprechenden Kathetenebenen einander parallel und die Hypotenusenebenen zu einander senkrecht zu stellen. Diese Ebenen selbst sind versilbert und ausserdem noch durch die bei C und E sichtbaren Seitenwände des Gehäuses geblendet.

Je nachdem das Licht eines leuchtenden Punktes in das obere Prisma bei ε oder ε° eintritt, ist das Bild desselben bei e oder e° zu suchen. Aehnliches gilt für das untere Prisma, wo die Bilder bei e' und e''

Fig. 141.



erscheinen. Mit anderen Worten: Wenn der von der Kathetenebene BA aus von links nach rechts gezählte Winkel AaM spitz ist, so ist das Bild bei e°, wenn er stumpf ist, bei e zu suchen. In dem ersteren Falle zeigt sich das Bild des Stabes N im unteren Prisma bei e'', in dem zweiten bei e'. Hiernach wird man sich in dem Gebrauche dieses Prismenkreuzes bald zurechtfinden.*)

IV. Mikrometer-Fernrohre für Abstandsbestimmungen.

§ 147.

Zur Messung sehr kleiner Winkel sind die Reflexionsinstrumente nicht geeignet, da die Instrumentenfehler das Resultat zu stark beeinflussen und die Vergrösserung des Fernrohrs eine beschränkte ist.

Solche kleine Winkel (kleiner als 1°), welche namentlich bei Entfernungsbestimmungen in Frage kommen, misst man vortheilhafter mit einem Doppelbildmikrometer, welches entweder nach dem Princip

*) Ueber eine Anwendung des Prismenkreuzes bei der Deviationsbestimmung an Bord vergl. Annalen der Hydrographie 1876, S. 384. Das Verfahren besteht in Benutzung von Alignements, deren magnetische Richtung aus der Karte entnommen wird.

von **Rochon** auf der Doppelbrechung des Lichts beruht oder nach dem jetzt allgemeiner angewendeten **Dollond**schen Princip eines durchschnittenen Objektivs, dessen eine Hälfte sich gegen die andere verschieben lässt (als Schaubscher Distanzmesser oder Rogers Mikrometer-Fernrohr bekannt).

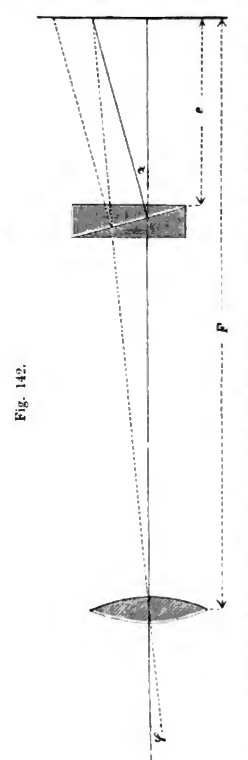


Fig. 142.

Das **Rochonsche Mikrometer**, welches bei flüchtigen Aufnahmen in früherer Zeit, namentlich in der französischen Marine, Verwendung gefunden hat, ist ein Doppelprisma aus Bergkrystall, welches zwischen Objektiv und Gesichtsfeld eines Fernrohrs eingeschaltet wird. Das Doppelprisma (Fig. 142) besteht aus zwei rechtwinkligen Prismen, welche mit ihren Hypotenusen zusammengelegt sind und mit ihren Kathetenflächen normal zur Fernrohraxe stehen. Das dem Objektiv zugewandte Prisma ist senkrecht, das zweite parallel zur Fernrohraxe geschliffen. Infolge dessen geht der gewöhnliche Strahl senkrecht durch das Doppelprisma hindurch, der ungewöhnliche aber wird unter einem Winkel α gebrochen, und es entstehen auf dem Gesichtsfelde zwei Bilder $a\,a_1$ des einen Punktes.

Beobachtet man nun einen zweiten Punkt, welcher vom ersten um den Gesichtspunkt φ absteht, gleichzeitig im Fernrohr, so erscheinen auch von diesem zwei Bilder $b\,b_1$. Nun ist das Doppelprisma längs der Axe des Fernrohrs verschiebbar, so dass man das Bild a_1 mit dem Bilde b zur Deckung bringen kann. Liest man dann die Entfernung e ab, so erhält man aus dem bekannten Winkel α und der Brennweite F

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{e}{F} \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

woraus die Entfernung der Punkte $a\,b$ bei bekannter Auseinanderstellung oder die Auseinanderstellung derselben bei bekannter Entfernung hervorgeht.

Stelle z. B. $a\,b$ eine Flaggenstange von bekannter Höhe vor. Man bringt das gewöhnliche Bild derselben mit dem ungewöhnlichen $a_1\,b_1$ zur

Berührung vertikal unter einander und entnimmt mit der Ablesung *e* aus einer Tafel, deren Argumente Höhe und Entfernung sind, die gesuchte Entfernung.

Diese Mikrometer-Fernrohre sind durch die Fernrohre mit durchschnittenem Okular, welche hellere Bilder geben und einfacher konstruirt werden können, in neuerer Zeit ganz verdrängt worden.

§ 148. Mikrometer-Fernrohr mit durchschnittenem Objektiv.

Distanzmesser nach Schaub. (Tafel XXIII.)

1. Beschreibung des Instruments.

Ein astronomisches Fernrohr von zwanzigfacher Vergrösserung, 370 mm Fokallänge, 33 mm Objektivöffnung, trägt am Objektivende eine Stahlplatte *a*, auf welcher zwei Schlitten *b* und *c* je eine Hälfte des diametral durchschnittenen achromatischen Objektivs in halbkreisförmigen Fassungsringen *d* tragen. Der Schlitten *b* ist fest und nur mit einer Justirvorrichtung zur seitlichen Korrektion versehen. Die Objektivhälfte dieses Schlittens ist zur Fernrohraxe centrirt. Der Schlitten *c* wird durch die Schraube *S* verschoben. Diese Verschiebung dient zur Winkelmessung. Ein Index ist auf der festen Platte *a* verschraubt, eine an dieser Stelle auf dem Schlitten angebrachte Skala lässt die Verschiebung des Schlittens ablesen. Durch eine volle Umdrehung der Schraube *S* wird der Schlitten um einen Skalentheil fortgeschoben. Der Schraubenkopf ist in hundert Theile getheilt.

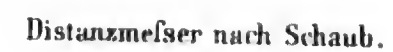
Die Ablesung setzt sich zusammen aus den an der Skala abgelesenen Ziffern als erste und den am Schraubenkopf abgelesenen als letzte Stellen. Von dieser Ablesung ist die durch Beobachtung festzustellende konstante Ablesung für die Nullstellung in Abzug zu bringen. Dieselbe fällt sehr nahe mit der Ablesung 1000 zusammen.

Berichtigungen sind am Instrument in der Regel nicht vorzunehmen. Die Vorrichtung *ff* gestattet eine Korrektion der festen Objektivhälfte behufs genauer Centrirung und richtiger Auseinanderstellung der beiden Objektivschlitten. Um diese Korrektion vorzunehmen, müssen die Schrauben *h h* zunächst gelöst werden.

Die Auseinanderstellung der beiden Objektivhälften ist korrekt, wenn man in der Nullstellung nur ein einziges Bild sieht. Sieht man aber zwei Bilder, welche nicht durch Verschiebung des beweglichen Schlittens zur Deckung gebracht werden können, so ist ein Fehler in der Auseinanderstellung vorhanden.

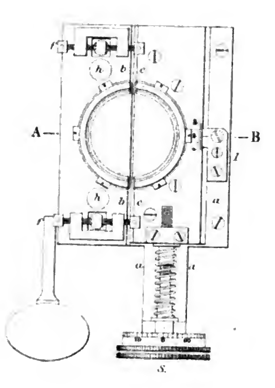
Zum Reinigen des Objektivs genügt es, den beweglichen Schlitten ganz herauszuschrauben.

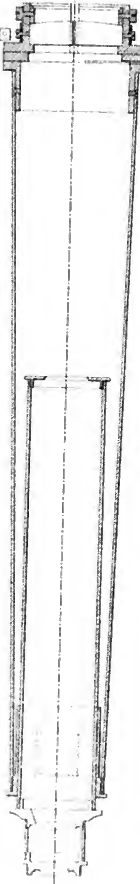
Der Nullpunkt kann korrigirt werden, indem man die beiden Schrauben des Indexwinkels *J* löst und diesen Winkel, welcher unter den Schraubenköpfen längliche Löcher hat, verschiebt.



Schnitt AB

Ansicht des Objectivs.



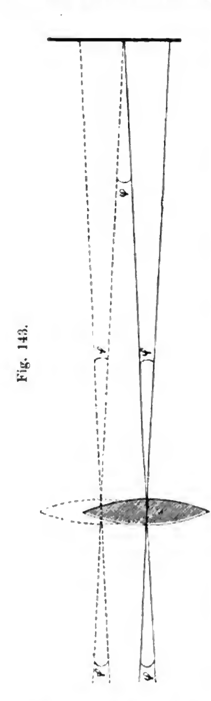


Maſsstab

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 mm

2. Gebrauch des Instruments.

Nachdem das Okular scharf eingestellt ist, fasst man den Knopf mit der linken Hand, deren Daumen und Zeigefinger die Mikrometerschraube bewegen, und unterstützt das Fernrohr mit der rechten Hand. Indem man die Mikrometerschraube dreht, sieht man die beiden Bilder im Objektiv sich gegen einander verschieben; decken sie sich vollständig, so steht das Instrument auf Null. Bringt man die beiden Bilder des Objekts zur äusseren Berührung, so findet man aus der Ablesung, verglichen mit der Ablesung der Nullstellung, den Gesichtswinkel und somit bei bekannter Ausdehnung des Objekts die Entfernung.


Fig. 143.

Zur Anwendung des Instruments ist also festzustellen: der Nullpunkt auf der Theilung und der Werth eines Skalentheils in Winkelmass. Beides findet man durch Beobachtung an der Sonne auf folgende Weise:

(1) Der Nullpunkt der Theilung wird auf dieselbe Weise wie bei den Reflexionsinstrumenten festgestellt. Man schraubt das zu diesem Zweck dem Instrument beigegebene farbige Glas vor das Okular, beobachtet die Berührung der Sonnenbilder und liest die Einstellung der Skala und Trommel ab. Dann schraubt man das bewegliche Sonnenbild durch das unbewegliche hindurch und beobachtet wieder die Berührung. Das Mittel beider Ablesungen ist der Nullpunkt der Skala und Trommel, gewöhnlich der Ablesung 1000 entsprechend.

(2) Aus den Ephemeriden entnimmt man den Halbmesser der Sonne und reducirt ihn genau auf die Zeit der Beobachtung. Durch Verdoppelung dieses Werthes erhält man den wahren Durchmesser, welchen man bei niedrigem Stand der Sonne noch auf den scheinbaren reduciren muss, indem man die Differenz der Refraktion für Ober- und Unterrandshöhe von dem wahren Durchmesser abzieht.*) Aus einer Reihe von Berührungen der Sonnenränder mit negativer und einer Reihe mit positiver Ablesung, welche abwechselnd beobachtet sind,

*) Vergl. die Taf. 40 Ligowskys „Log. Tafeln", Taf. XVIII Domkes „Naut. Tafeln".

nimmt man je das Mittel. Der Unterschied dieser beiden Mittel ist der doppelte scheinbare Durchmesser der Sonne, in Skalentheilen ausgedrückt.

Der berechnete scheinbare Durchmesser der Sonne, dividirt durch den halben Unterschied der Skalenablesungen, giebt also den Werth eines Skalentheils.

Eine Tafel nach dem Schema des folgenden Beispiels giebt dann für jede Ablesung des Instruments den Winkelwerth.

Bei der Handhabung des Instruments macht das grosse Gewicht des Objektivtheils Schwierigkeiten. Beim längeren Beobachten ermüdet der linke Arm, das Instrument bewegt sich, und das Auge bleibt nicht konstant in der optischen Axe des Fernrohrs. Die Folge davon ist, dass eines der beiden Bilder zeitweise verschwindet und wieder auftaucht. Bei fortgesetztem Beobachten ist eine Stütze für den linken Arm (nicht für das Fernrohr, selbst bei bewegtem Schiffe) erforderlich.

Tabelle zur Verwandlung der Skalentheile des Distanzmessers No. 1 in Minuten und Sekunden.

1 Schraubentheil = 2,539″.

Theile des Schraubenkopfs	Ganze Schraubengänge (an der linearen Theilung abzulesen)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	0′ 0″	4′ 14″	8′ 28″	12′ 42″	16′ 56″	21′ 10″	25′ 23″	29′ 37″	33′ 51″	38′ 5″
0,10	0 25	4 39	8 53	13 7	17 21	21 35	25 49	30 3	34 17	38 30
0,20	0 51	5 5	9 19	13 32	17 46	22 0	26 14	30 28	34 42	38 56
0,30	1 16	5 30	9 44	13 58	18 12	22 26	26 40	30 53	35 7	39 21
0,40	1 42	5 55	10 9	14 23	18 37	22 51	27 5	31 19	35 33	39 47
0,50	2 7	6 21	10 35	14 49	19 3	23 16	27 30	31 44	35 58	40 12
0,60	2 32	6 46	11 0	15 14	19 28	23 42	27 56	32 10	36 24	40 37
0,70	2 58	7 12	11 26	15 39	19 53	24 7	28 21	32 35	36 49	41 3
0,80	3 23	7 37	11 51	16 5	20 19	24 33	28 47	33 0	37 14	41 28
0.90	3 49	8 2	12 16	16 30	20 44	24 58	29 12	33 26	37 40	41 54
1,00	4 14	8 28	12 42	16 56	21 10	25 23	29 37	33 51	38 5	42 19

3. Anwendung des Distanzmessers.

Das Instrument hat vielfach als artilleristischer Distanzmesser Verwendung gefunden und ist namentlich zur Messung des kleinen Winkels zwischen Horizont und Wasserlinie vom Mars aus angewendet worden.

Die Brauchbarkeit dieses Distanzmessers ist aber eine noch weniger zweifelhafte bei der Benutzung als Vermessungs-Instrument. Bei allen Vermessungen kleiner Küstenstrecken, Häfen, Buchten ist das Mikrometer-Fernrohr ein sehr bequemes Hülfsmittel. Man bedient sich in Verbindung mit demselben einer Anzahl Stangen mit markirter Länge (2 bis 3 m lang), deren Richtung und Entfernung man misst. Man stellt diese Stangen an den Hauptpunkten auf und misst die Entfernungen aller

Stangen von jedem Punkte aus, den man in den Plan eintragen will. Hat man die Hauptpunkte richtig zu einander auf dem Papier niedergelegt, so ergiebt der Schnittpunkt der Kreisbogen, welche man mit den gemessenen Entfernungen um diese Hauptpunkte beschreibt, die Nebenpunkte, von welchen aus die Entfernungen gemessen sind. Solche Vermessung wird sich noch vortheilhafter gestalten, wenn man das Mikrometer-Fernrohr nur zur Entfernungsbestimmung benutzt und zur Horizontalwinkelmessung daneben am Lande einen kleinen Theodoliten, im Boot einen Sextanten verwendet. (Im Uebrigen vergl. hierüber den Anhang.)

Die Genauigkeit der Entfernungsbestimmung ist eine für solche Zwecke sehr befriedigende. Man kann einen Winkel mit Leichtigkeit auf 8″ bis 10″ genau schon von Bord aus messen. An Land wird man kaum einen grösseren Fehler als 5″ bis 8″ begehen können. Beim Messen einer 2,5 m hohen Stange würde eine Entfernung unsicher werden:

600 m für 5″	um 3,3 m
500	2,4
400	1,6
300	0,8

der doppelte Fehler für Messungen im Boot wäre also auf 600 m noch zulässig.

Handelt es sich um grössere Entfernungen, so muss ein höheres Objekt gewählt werden. Es sind hier nur kurze Stangen genannt, weil dieselben sehr bequem sind für Anfertigung, Transport, Aufrichtung und genaue Nachmessung. Statt der vertikal aufzurichtenden Stangen sind horizontal zu haltende Rahmen, auf welche ein genaues Mass aufgemalt ist, oft noch bequemer.

Für die Basismessung selbst bei grösseren fliegenden Aufnahmen (ohne Landstationen) kann dieser Distanzmesser ein sehr werthvolles Instrument werden, wenn man beispielsweise die Takelage des Schiffes als Zielobjekt wählen kann. Wäre der Flaggenknopf z. B. genau 40 m über Wasser, so würde der Winkel in 2291,6 m Entfernung zu 1° gemessen werden, und ein Fehler von 20″ in der Winkelmessung würde einen Fehler von 16 m in der Entfernung verursachen, ein für flüchtige Vermessungen durchaus annehmbares Resultat.

Die Tabelle III auf Seite 360 enthält für kleine Winkel von 10″ zu 10″ diejenige Zahl, welche mit der Höhe des Zielobjekts multiplicirt den Abstand giebt. Will man für ein bestimmtes Objekt (z. B. die markirte Länge einer Messstange, die Masthöhe etc.) eine Abstandstabelle anfertigen, so sind alle Zahlen dieser Tabelle nur mit jenem Mass zu multipliciren.

I.

Tabelle

zur

Reduktion von Sextantenwinkeln auf den Horizont.

Argument $h \pm h'$. (Vergl. S. 334.)

min.	0°	Diff. f. 1 min.	1°	Diff. f. 1 min.	2°	Diff. f. 1 min.	3°	Diff. f. 1 min.	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
0	0,000	0,001	0,761	0,026	3,046	0,052	6,852	0,077	12,18	19,03	27,39	37,27	48,66	61,56	75,96	91,87	109,26	128,15	148,52	170,37
5	0,005	0,003	0,893	0,029	3,305	0,054	7,238	0,079	12,69	19,67	28,15	38,16	49,67	62,70	77,23	93,26	110,77	129,79	150,28	172,26
10	0,021	0,005	1,036	0,031	3,575	0,056	7,635	0,081	13,21	20,32	28,93	39,06	50,70	63,85	78,51	94,66	112,30	131,44	152,06	174,16
15	0,047	0,007	1,190	0,034	3,855	0,059	8,041	0,084	13,75	20,97	29,72	39,97	51,74	65,01	79,80	96,06	113,84	133,10	153,84	176,06
20	0,084	0,010	1,354	0,035	4,145	0,060	8,459	0,086	14,30	21,65	30,52	40,90	52,79	66,19	81,10	97,49	115,39	134,78	155,64	177,98
25	0,132	0,012	1,528	0,037	4,447	0,062	8,887	0,088	14,85	22,33	31,32	41,83	53,85	67,37	82,40	98,92	116,94	136,46	157,44	179,90
30	0,190	0,014	1,713	0,039	4,758	0,065	9,325	0,090	15,41	23,02	32,14	42,78	54,92	68,57	83,73	100,37	118,52	138,16	159,26	181,85
35	0,259	0,016	1,909	0,041	5,081	0,067	9,776	0,092	16,06	23,72	32,97	43,73	56,00	69,77	85,06	101,82	120,10	139,86	161,07	183,80
40	0,338	0,018	2,115	0,043	5,414	0,069	10,235	0,094	16,58	24,43	33,81	44,69	57,09	70,99	86,40	103,29	121,69	141,57	162,92	185,76
45	0,428	0,020	2,332	0,045	5,758	0,071	10,705	0,096	17,18	25,15	34,66	45,66	58,19	72,21	87,75	104,76	123,29	143,29	164,77	187,72
50	0,529	0,022	2,559	0,048	6,112	0,073	11,186	0,098	17,78	25,89	35,51	46,65	59,30	73,45	89,11	106,25	124,89	145,02	166,62	189,70
55	0,640	0,024	2,797	0,050	6,477	0,075	11,677	0,101	18,40	26,64	36,38	47,65	60,43	74,70	90,48	107,75	126,51	146,77	168,49	191,69
60	0,761		3,046		6,852		12,180		19,03	27,39	37,27	48,66	61,56	75,96	91,87	109,26	128,15	148,52	170,37	193,69
									Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.	Diff. f. 1 min.
									0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36	0,39

II. Tabelle zur Reduktion der Sextantenwinkel.

Argument $^1/_2\,p$. (Vergl. Seite 334.)

$^1/_2\,p$	tang. +	cotang. —		$^1/_2\,p$	tang. +	cotang. —		$^1/_2\,p$	tang. +	cotang. —	
0° 0'	0,00		90° 0'	15° 0'	5,53	76,98	75° 0'	30° 0'	11,91	35,73	60° 0'
20	0,12	3545,39	40	20	5.66	75,23	40	20	12,07	35,25	40
40	0.24	1772,63	20	40	5.78	73.55	20	40	12,23	34.79	20
1° 0	0,36	1181,69	89° 0	16° 0	5,91	71,93	74° 0	31° 0	12,39	34.33	59° 0
20	0.48	888.65	40	20	6,04	70,39	40	20	12,56	33,88	40
40	0.60	708,87	20	40	6,18	68.90	20	40	12,72	33,44	20
2° 0	0,72	590,67	88° 0	17° 0	6,31	67,47	73° 0	32° 0	12,89	33,01	58° 0
20	0.84	506 21	40	20	6,44	66,09	40	20	13,05	32,58	40
40	0,96	442,87	20	40	6,57	64,76	20	40	13,22	32,17	20
3° 0	1.08	393.58	87° 0	18° 0	7,70	63,48	72° 0	33° 0	13,39	31.76	57° 0
20	1.20	354,14	40	20	6,84	62.25	40	20	13.56	31,36	40
40	1,32	321,87	20	40	6,97	61,06	20	40	13,73	30,96	20
4° 0	1,44	294,98	86° 0	19° 0	7.10	59,90	71° 0	34° 0	13.91	30,58	56° 0
20	1,56	272,20	40	20	7.24	58,79	40	20	14,08	30,20	40
40	1,68	252,68	20	40	7,37	57,71	20	40	14,26	29,82	20
5° 0	1,80	235,76	85° 0	20° 0	7.51	56,67	70° 0	35° 0	14,44	29,46	55° 0
20	1,93	220,95	40	20	7,64	55,67	40	20	14,62	29,10	40
40	2,05	207,87	20	40	7,78	54,69	20	40	14.80	28,74	20
6° 0	2,17	196,25	84° 0	21° 0	7,92	53,73	69° 0	36° 0	14,99	28,39	54° 0
20	2,29	185,84	40	20	8,05	52,81	40	20	15,17	28,04	40
40	2,41	176,37	20	40	8,19	51,92	20	40	15.35	27,70	20
7° 0	2,53	167,99	83° 0	22° 0	8,33	51,05	68° 0	37° 0	15,54	27,37	53° 0
20	2,66	160,27	40	20	8,47	50,21	40	20	15,73	27,04	40
40	2,78	153,23	20	40	8,61	49,39	20	40	15,92	26.72	20
8° 0	2.90	146,77	82° 0	23° 0	8,76	48,59	67° 0	38° 0	16,11	26,40	52° 0
20	3,02	140,82	40	20	8,90	47,82	40	20	16,31	26,08	40
40	3,14	135.32	20	40	9.04	47,06	20	40	16,50	25,77	20
9° 0	3,27	130.23	81° 0	24° 0	9,18	46,33	66° 0	39° 0	16.70	25,47	51° 0
20	3.39	125,50	40	20	9.32	45,61	40	20	16,90	25,17	40
40	3.51	121,09	20	40	9,47	44,91	20	40	17,10	24.87	20
10° 0	3,64	116.98	80° 0	25° 0	9,62	44,23	65° 0	40° 0	17.31	24,58	50° 0
20	3.76	113,13	40	20	9,76	43,57	40	20	17,51	24,29	40
40	3,88	109.51	20	40	9,91	42,92	20	40	17,72	24,01	20
11° 0	4,01	106,11	79° 0	26° 0	10,06	42,29	64° 0	41° 0	17.93	23,73	49° 0
20	4,14	102,91	40	20	10,20	41.67	40	20	18.14	23,45	40
40	4,26	99,89	20	40	10,36	41,07	20	40	18,35	23,17	20
12° 0	4,38	97,04	78° 0	27° 0	10,51	40.48	63° 0	42° 0	18.57	22.91	48° 0
20	4,51	94.34	40	20	10,66	39.90	40	20	18,79	22.63	40
40	4.63	91,77	20	40	10,81	39,34	20	40	19,01	22,37	20
13° 0	4,76	89,35	77° 0	28° 0	10,97	38.79	62° 0	43° 0	19,23	22,12	47° 0
20	4,88	87.03	40	20	11,12	38,25	40	20	19.45	21,86	40
40	5,02	84.83	20	40	11,27	37,43	20	40	19.68	21,61	20
14° 0	5.14	82,74	76° 0	29° 0	11,43	37,21	61° 0	44° 0	19,92	21,36	46° 0
20	5,27	80,73	40	20	11,59	36,71	40	20	20,15	21,11	40
40	5,40	78,81	20	40	11,75	36,21	20	40	20,39	20,87	20
15° 0	5,53	76,98	75° 0	30° 0	11.91	35,73	60° 0	45° 0	20,63	20,63	45° 0
	cotang. —	tang. +	$^1/_2\,p$		cotang. —	tang. +	$^1/_2\,p$		cotang. —	tang. +	$^1/_2\,p$

III. Tabelle für mikrometrische Abstandsbestimmung. (Vergl. Seite 357.)

0 Grad. (Cotangente des gemessenen Winkels oder Abstand für h = 1.)

Minuten	0″	10″	20″	30″	40″	50″	Minuten
0	∞	20626,48	10313,24	6875,49	5156,62	4125,30	0
1	3437,75	2946,64	2578,31	2291,83	2062,65	1875,13	1
2	1718,87	1586,65	1473,32	1375,10	1289,16	1213,32	2
3	1145,92	1085,60	1031,32	982,21	937,57	896,81	3
4	859,44	825,06	793,33	763,94	736,66	711,26	4
5	687,55	665,37	644,58	625,04	606,67	589,33	5
6	572,96	557,47	542,80	528,88	515,56	503,08	6
7	491,11	479,69	468,78	458,36	448,40	438,86	7
8	429,72	420,95	412,53	404,44	396,66	389,18	8
9	381,97	375,03	368,33	361,87	355,53	349,60	9
10	343,77	338,14	332,68	327,40	322,29	317,33	10
11	312,52	307,86	303,33	298,93	294,66	290,51	11
12	286,48	282,55	278,74	275,02	271,40	267,88	12
13	264,44	261,09	257,83	254,65	251,54	248,51	13
14	245,55	242,66	239,84	237,09	234,39	231,76	14
15	229,18	226,66	224,20	221,79	219,43	217,12	15
16	214,86	212,64	210,47	208,35	206,26	204,22	16
17	202,22	200,26	198,33	196,44	194,59	192,77	17
18	190,98	189,23	187,51	185,82	184,16	182,53	18
19	180,93	179,36	177,81	176,29	174,80	173,33	19
20	171,89	170,46	169,07	167,69	166,34	165,10	20
21	163,70	162,41	161,14	159,89	158,66	157,45	21
22	156,26	155,08	153,93	152,79	151,66	150,56	22
23	149,46	148,39	147,33	146,29	145,26	144,24	23
24	143,24	142,25	141,28	140,31	139,37	138,43	24
25	137,51	136,60	135,70	134,81	131,94	133,07	25
26	132,22	131,38	130,55	129,72	128,91	128,11	26
27	127,32	126,54	125,77	125,01	124,25	123,51	27
28	122,77	122,05	121,33	120,62	119,92	119,23	28
29	118,54	117,99	117,19	116,53	115,88	115,22	29
30	114,59	113,96	113,37	112,74	112,13	111,49	30
31	110,89	110,31	109,72	109,14	108,56	107,99	31
32	107,43	106,87	106,32	105,77	105,23	104,70	32
33	104,17	103,65	103,13	102,62	102,11	101,60	33
34	101,11	100,61	100,13	99,64	99,16	98,69	34
35	98,22	97,75	97,29	96,83	96,38	95,93	35
36	95,49	95,05	94,61	94,18	93,75	93,33	36
37	92,91	92,49	92,08	91,67	91,26	90,86	37
38	90,46	90,07	89,68	89,29	88,90	88,52	38
39	88,14	87,77	87,40	87,03	86,66	86,30	39
40	85,94	85,58	85,23	84,88	84,53	84,19	40
41	83,84	83,50	83,17	82,83	82,50	82,17	41
42	81,85	81,53	81,20	80,88	80,57	80,26	42
43	79,95	79,64	79,33	79,03	78,72	78,42	43
44	78,13	77,83	77,54	77,25	76,96	76,67	44
45	76,39	76,11	75,83	75,55	75,28	75,00	45
46	74,73	74,46	74,19	73,93	73,66	73,40	46
47	73,14	72,88	72,62	72,37	72,12	71,87	47
48	71,62	71,37	71,12	70,88	70,63	70,39	48
49	70,15	69,92	69,68	69,45	69,21	68,98	49
50	68,75	68,52	68,30	68,07	67,85	67,62	50
51	67,40	67,18	66,96	66,75	66,53	66,32	51
52	66,11	65,89	65,68	65,48	65,27	65,06	52
53	64,86	64,66	64,45	64,25	64,05	63,86	53
54	63,66	63,46	63,27	63,07	62,88	62,69	54
55	62,50	62,31	62,12	61,94	61,75	61,57	55
56	61,38	61,20	61,02	60,84	60,66	60,48	56
57	60,31	60,13	59,96	59,78	59,61	59,44	57
58	59,27	59,10	58,93	58,76	58,59	58,43	58
59	58,26	58,10	57,93	57,77	57,61	57,45	59

1 Grad.

Min.	0″	10″	20″	30″	40″	50″
0	57,29	57,13	56,97	56,82	56,66	56,51
1	56,35	56,20	56,04	55,89	55,74	55,59
2	55,44	55,29	55,15	54,99	54,85	54,71
3	54,56	54,42	54,28	54,13	53,99	53,85
4	53,71	53,57	53,43	53,29	53,16	53,02
5	52,88	52,75	52,61	52,48	52,35	52,21
6	52,88	51,95	51,82	51,69	51,56	51,43
7	51,30	51,18	51,05	50,92	50,80	50,67
8	50,55	50,42	50,30	50,18	50,06	49,94
9	49,82	49,70	49,58	49,46	49,34	49,22
10	49,10	48,99	48,87	48,76	48,64	48,53
11	48,41	48,30	48,19	48,07	47,96	47,85
12	47,74	47,63	47,52	47,41	47,30	47,19
13	47,09	46,98	46,87	46,77	46,66	46,55
14	46,45	46,34	46,24	46,14	46,03	45,93
15	45,83	45,73	45,63	45,53	45,43	45,33
16	45,23	45,13	44,03	44,93	44,83	44,74
17	44,64	44,54	44,45	44,35	44,25	44,16
18	44,07	43,97	43,88	43,79	43,69	43,60
19	43,51	43,42	43,32	43,23	43,14	43,05
20	42,96	42,87	42,79	42,70	42,61	42,52
21	42,43	42,35	42,26	42,17	42,09	42,00
22	41,92	41,83	41,75	41,66	41,58	41,49
23	41,41	41,33	41,25	41,16	41,08	40,99
24	40,92	40,84	40,76	40,68	40,60	40,52
25	40,44	40,36	40,28	40,20	40,12	40,04
26	39,97	39,89	39,81	39,73	39,66	39,58
27	39,51	39,43	39,36	39,28	39,21	39,13
28	39,06	38,98	39,91	38,84	38,76	38,69
29	38,62	38,55	38,47	38,40	38,33	38,26
30	38,19	38,12	38,05	37,98	37,91	37,84
31	37,77	37,70	37,63	37,56	37,49	37,43
32	37,36	37,29	37,22	37,16	37,09	37,02
33	36,96	36,89	36,82	36,76	36,69	36,63
34	36,56	36,50	36,43	36,37	36,31	36,24
35	36,18	36,12	36,05	35,99	35,93	35,86
36	35,80	35,74	35,68	35,62	35,55	35,49
37	35,43	35,37	35,31	35,25	35,19	35,13
38	35,07	35,01	34,95	34,89	34,83	34,77
39	34,72	34,66	34,60	34,54	34,48	34,43
40	34,37	34,31	34,25	34,20	34,14	34,08
41	34,03	33,97	33,92	33,86	33,80	33,75
42	33,69	33,64	33,58	33,53	33,47	33,42
43	33,37	33,31	33,26	33,21	33,15	33,10
44	33,05	32,99	32,94	32,89	32,84	32,78
45	32,73	32,68	32,63	32,58	32,52	32,47
46	32,42	32,37	32,32	32,27	32,22	32,17
47	32,12	32,07	32,02	31,97	31,92	31,87
48	31,82	31,77	31,72	31,67	31,62	31,58
49	31,53	31,48	31,43	31,38	31,34	31,29
50	31,24	31,19	31,15	31,10	31,05	31,01
51	30,96	30,91	30,87	30,82	30,77	30,73
52	30,68	30,64	30,59	30,55	30,50	30,46
53	30,41	30,37	30,32	30,28	30,23	30,19
54	30,15	30,10	30,06	30,01	29,97	29,93
55	29,88	29,84	29,80	29,75	29,71	29,67
56	29,63	29,58	29,54	29,50	29,46	29,41
57	29,37	29,33	29,29	29,25	29,21	29,16
58	29,12	29,08	29,04	29,00	28,96	28,92
59	28,88	28,84	28,80	28,76	28,72	28,68

2 Grad.

Min.	0″	10″	20″	30″	40″	50″
0	28,64	28,60	28,56	28,52	28,48	28,44
1	28,40	28,36	28,32	28,28	28,24	28,20
2	28,17	28,13	28,09	28,05	28,01	27,98
3	27,94	27,90	27,86	27,82	27,79	27,75
4	27,71	27,68	27,64	27,60	27,56	27,53
5	27,49	27,45	27,42	27,38	27,35	27,31
6	27,27	27,24	27,20	27,17	27,13	27,09
7	27,06	27,02	26,99	26,95	26,92	26,88
8	26,85	26,81	26,78	26,74	26,71	26,67
9	26,64	26,60	26,57	26,53	26,50	26,47
10	26,43	26,40	26,36	26,33	26,30	26,26
11	26,23	26,20	26,16	26,13	26,10	26,06
12	26,03	25,99	25,97	25,93	25,90	25,87
13	25,84	25,80	25,77	25,74	25,71	25,68
14	25,64	25,61	25,58	25,55	25,52	25,49
15	25,46	25,42	25,39	25,36	25,33	25,30
16	25,27	25,24	25,21	25,18	25,15	25,11
17	25,08	25,05	25,02	24,99	24,96	24,93
18	24,90	24,87	24,84	24,81	24,78	24,75
19	24,72	24,69	24,66	24,63	24,60	24,57
20	24,54	24,51	24,48	24,46	24,43	24,40
21	24,37	24,34	24,31	24,28	24,25	24,22
22	24,19	24,17	24,14	24,11	24,08	24,05
23	24,03	23,99	23,97	23,94	23,91	23,89
24	23,86	23,83	23,80	23,77	23,75	23,72
25	23,69	23,67	23,64	23,61	23,59	23,56
26	23,53	23,50	23,48	23,45	23,42	23,40
27	23,37	23,34	23,32	23,29	23,27	23,24
28	23,22	23,19	23,16	23,14	23,11	23,09
29	23,06	23,03	23,01	22,98	22,96	22,93
30	22,90	22,88	22,85	22,83	22,80	22,78
31	22,75	22,73	22,70	22,68	22,65	22,63
32	22,60	22,58	22,55	22,53	22,50	22,48
33	22,45	22,43	22,41	22,38	22,36	22,33
34	22,31	22,29	22,26	22,24	22,21	22,19
35	22,17	22,14	22,12	22,09	22,70	22,05
36	22,02	21,99	21,97	21,95	21,93	21,90
37	21,88	21,86	21,83	21,81	21,79	21,76
38	21,74	21,72	21,69	21,67	21,65	21,63
39	21,60	21,58	21,56	21,53	21,61	21,49
40	21,46	21,44	21,42	21,40	21,38	21,36
41	21,33	21,31	21,29	21,27	21,25	21,22
42	21,20	21,18	21,16	21,14	21,11	21,09
43	21,07	21,05	21,03	21,02	20,99	20,97
44	20,94	20,92	20,90	20,88	20,86	20,84
45	20,82	20,80	20,78	20,75	20,73	20,71
46	20,69	20,67	20,65	20,63	20,61	20,59
47	20,57	20,55	20,53	20,51	20,49	20,47
48	20,45	20,43	20,41	20,39	20,37	20,35
49	20,33	20,31	20,29	20,27	20,25	20,23
50	20,21	20,19	20,17	20,15	20,13	20,11
51	20,09	20,07	20,05	20,03	20,01	19,99
52	19,97	19,95	19,93	19,91	19,89	19,87
53	19,86	19,83	19,81	19,79	19,77	19,75
54	19,74	19,71	19,69	19,67	19,66	19,64
55	19,63	19,60	19,58	19,56	19,54	19,52
56	19,51	19,49	19,47	19,45	19,43	19,42
57	19,41	19,38	19,36	19,35	19,33	19,31
58	19,30	19,28	19,26	19,24	19,22	19,21
59	19,19	19,17	19,15	19,13	19,12	19,10

3 Grad.							4 Grad.						
Min.	0″	10″	20″	30″	40″	50″	Min.	0″	10″	20″	30″	40″	50″
0	19,08	19,06	19,05	19,03	19,01	18,99	0	14,30	14,29	14,28	14,27	14,26	14,25
1	18,97	18,96	18,94	18,92	18,91	18,89	1	14,24	14,23	14,22	14,21	14,20	14,19
2	18,87	18,85	18,84	18,82	18,80	18,79	2	14,18	14,17	14,16	14,15	14,14	14,13
3	18,77	18,75	18,74	18,72	18,70	18,68	3	14,12	14,11	14,10	14,09	14,08	14,07
4	18,67	18,65	18,63	18,62	18,60	18,58	4	14,07	14,05	14,04	14,03	14,02	14,01
5	18,57	18,55	18,53	18,51	18,50	18,48	5	14,00	13,99	13,98	13,97	13,96	13,95
6	18,46	18,45	18,43	18,41	18,40	18,38	6	13,95	13,93	13,93	13,92	13,91	13,90
7	18,36	18,35	18,33	18,32	18,30	18,28	7	13,89	13,88	13,87	13,86	13,85	13,84
8	18,27	18,25	18,24	18,22	18,20	18,19	8	13,84	13,83	13,82	13,81	13,80	13,79
9	18,17	18,16	18,14	18,12	18,11	18,09	9	13,78	13,77	13,76	13,75	13,75	13,74
10	18,08	18,06	18,04	18,03	18,01	17,99	10	13,73	13,72	13,71	13,70	13,69	13,68
11	17,98	17,95	17,95	17,93	17,92	17,89	11	13,67	13,66	13,66	13,65	13,64	13,63
12	17,88	17,87	17,85	17,84	17,82	17,81	12	13,62	13,61	13,60	13,59	13,58	13,57
13	17,79	17,78	17,76	17,75	17,73	17,72	13	13,57	13,56	13,55	13,54	13,53	13,52
14	17,70	17,69	17,67	17,66	17,64	17,63	14	13,51	13,50	13,49	13,49	13,48	13,47
15	17,61	17,60	17,58	17,57	17,55	17,54	15	13,46	13,45	13,44	13,43	13,42	13,42
16	17,52	17,51	17,49	17,48	17,46	17,45	16	13,41	13,38	13,39	13,38	13,37	13,36
17	17,43	17,42	17,40	17,39	17,37	17,36	17	13,35	13,34	13,33	13,33	13,32	13,31
18	17,34	17,33	17,31	17,30	17,28	17,27	18	13,30	13,29	13,28	13,27	13,27	13,26
19	17,25	17,24	17,22	17,21	17,20	17,18	19	13,25	13,24	13,23	13,22	13,21	13,21
20	17,17	17,15	17,14	17,13	17,11	17,10	20	13,20	13,19	13,18	13,17	13,16	13,15
21	17,08	17,07	17,06	17,04	17,03	17,01	21	13,15	13,14	13,13	13,12	13,11	13,10
22	16,99	16,99	16,97	16,96	16,94	16,93	22	13,10	13,09	13,08	13,07	13,06	13,05
23	16,92	16,90	16,89	16,87	16,86	16,85	23	13,05	13,04	13,03	13,02	13,01	13,00
24	16,83	16,82	16,80	16,79	16,78	16,76	24	12,99	12,99	12,98	12,97	12,96	12,96
25	16,75	16,73	16,72	16,71	16,69	16,68	25	12,95	12,94	12,93	12,92	12,91	12,91
26	16,66	16,65	16,64	16,62	16,61	16,60	26	12,90	12,89	12,88	12,87	12,87	12,86
27	16,59	16,57	16,56	16,55	16,53	16,52	27	12,85	12,84	12,83	12,83	12,82	12,81
28	16,51	16,49	16,48	16,47	16,46	16,44	28	12,70	12,79	12,79	12,78	12,77	12,76
29	16,43	16,42	16,40	16,39	16,38	16,36	29	12,75	12,75	12,74	12,73	12,72	12,71
30	16,35	16,34	16,32	16,31	16,30	16,29	30	12,71	12,70	12,69	12,68	12,68	12,67
31	16,27	16,26	16,25	16,23	16,22	16,21	31	12,60	12,65	12,64	12,64	12,63	12,62
32	16,19	16,18	16,17	16,16	16,14	16,13	32	12,61	12,60	12,60	12,59	12,58	12,57
33	16,12	16,10	16,09	16,08	16,07	16,05	33	12,57	12,56	12,55	12,54	12,54	12,53
34	16,04	16,03	16,02	16,00	15,99	15,98	34	12,52	12,51	12,51	12,50	12,49	12,48
35	15,97	15,96	15,94	15,93	15,92	15,91	35	12,47	12,47	12,46	12,45	12,44	12,44
36	15,89	15,88	15,87	15,87	15,85	15,83	36	12,43	12,42	12,41	12,41	12,40	12,39
37	15,82	15,81	15,80	15,79	15,77	15,76	37	12,38	12,38	12,37	12,36	12,35	12,35
38	15,75	15,74	15,73	15,71	15,70	15,69	38	12,34	12,33	12,32	12,32	12,31	12,30
39	15,68	15,67	15,65	15,64	15,63	15,62	39	12,30	12,29	12,28	12,27	12,27	12,26
40	15,61	15,59	15,58	15,57	15,56	15,55	40	12,25	12,24	12,24	12,23	12,22	12,21
41	15,53	15,52	15,51	15,50	15,49	15,47	41	12,21	12,20	12,19	12,19	12,18	12,17
42	15,46	15,45	15,44	15,43	15,41	15,40	42	12,16	12,16	12,15	12,14	12,13	12,13
43	15,39	15,38	15,37	15,35	15,34	15,33	43	12,12	12,11	12,11	12,10	12,09	12,08
44	15,32	15,31	15,30	15,29	15,28	15,27	44	12,08	12,07	12,06	12,06	12,05	12,04
45	15,25	15,24	15,23	15,22	15,21	15,20	45	12,04	12,03	12,02	12,01	12,01	12,00
46	15,19	15,18	15,17	15,16	15,14	15,13	46	11,99	11,99	11,98	11,97	11,96	11,95
47	15,12	15,11	17,10	15,09	15,08	15,07	47	11,95	11,94	11,94	11,93	11,92	11,91
48	15,06	15,05	15,03	15,02	15,01	15,00	48	11,91	11,90	11,90	11,89	11,88	11,87
49	14,99	14,98	14,97	14,96	14,95	14,94	49	11,87	11,86	11,85	11,85	11,83	11,82
50	14,92	14,91	14,90	14,89	14,88	14,87	50	11,83	11,82	11,81	11,81	11,80	11,79
51	14,86	14,85	14,84	14,83	14,81	14,80	51	11,79	11,78	11,77	11,77	11,76	11,75
52	14,79	14,79	14,77	14,76	14,75	14,74	52	11,75	11,74	11,73	11,73	11,72	11,71
53	14,73	14,72	14,70	14,69	14,68	14,57	53	11,71	11,70	11,69	11,69	11,68	11,67
54	14,66	14,65	14,64	14,63	14,62	14,61	54	11,67	11,66	11,65	11,65	11,64	11,63
55	14,60	14,59	14,58	14,57	14,56	14,55	55	11,63	11,62	11,61	11,61	11,60	11,59
56	14,54	14,53	14,52	14,51	14,50	14,49	56	11,59	11,58	11,57	11,57	11,56	11,55
57	14,48	14,47	14,46	14,45	14,44	14,43	57	11,55	11,54	11,53	11,53	11,52	11,51
58	14,42	14,41	14,40	14,39	14,38	14,37	58	11,51	11,50	11,49	11,49	11,48	11,47
59	14,36	14,35	14,34	14,33	14,32	14,31	59	11,47	11,46	11,46	11,45	11,44	11,43

Theodolite und Universal-Instrumente.

I. Der Theodolit.

§ 149. Theorie der Horizontal-Winkelmessung.

Der Theodolit besteht in seiner einfachsten Form aus folgenden drei Theilen:

a) Ein fester Horizontalkreis, welcher die Theilung trägt.

b) Ein beweglicher koncentrisch mit dem Theilkreise verbundener Alhidadenkreis mit Ablesevorrichtung, welcher zwei Axenlager trägt, in welchen

c. Ein um eine horizontale Axe bewegliches Fernrohr ruht.

Das Princip der Winkelmessung mittelst des Instruments beruht auf der Annahme, dass die Kollimationsaxe des Fernrohrs sich stets in einer durch den Zenith gehenden Vertikalebene befindet, deren Richtung durch die Ablesung am Horizontalkreise bestimmt wird. Indem man verschiedene Punkte anvisirt, misst man also die Winkel, welche die Vertikalebenen dieser Richtungslinien mit einander bilden.

Damit diese Aufgabe gelöst werden kann, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Kollimationsaxe muss senkrecht zur horizontalen Drehaxe gerichtet sein.

2. Die Drehaxe des Fernrohrs muss dem Horizontalkreise parallel liegen.

3. Die Vertikalaxe des Instruments muss senkrecht auf der Horizontalebene stehen.

Der Einfluss, welchen Abweichungen von diesen Vorbedingungen auf die Winkelmessung üben, ergiebt sich aus folgenden Betrachtungen:

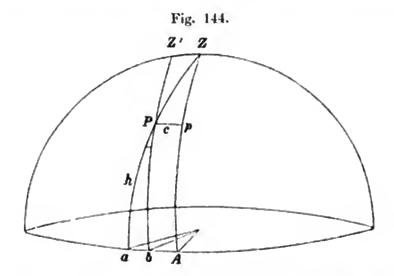
ad 1. Kollimationsfehler.

Wenn die Kollimationsaxe gegen die Horizontalaxe geneigt ist, so kann die erstere niemals nach dem Zenith, sondern nur gegen einen Punkt gerichtet werden, welcher um einen Bogen c vom Zenith entfernt ist. Dreht man das Fernrohr um seine Horizontalaxe, so beschreibt die Kollimationslinie einen Bogen $Z' b$ (Fig. 144) parallel dem eingestellten

Vertikalkreise. Je nachdem das Fernrohr höher oder niedriger gerichtet ist, befindet sich diese Kollimationslinie in einem andern Vertikalkreise.

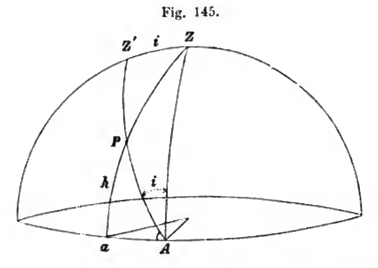
Während also A der am Theilkreise eingestellte Punkt ist, wird der auf a senkrechte Vertikalkreis anvisirt. Von dem Kollimationsfehler $A\,a$ ist ein Theil konstant, also unschädlich, nämlich $A\,b = c$, ein Theil veränder-

Fig. 144.



lich mit der Höhe h. Für den Winkel Z (Bogen $A\,a$) erhält man aus dem kleinen rechtwinkligen Dreieck $Z\,P\,p$ genähert $Z = \frac{c}{\sin(90^\circ - h)} = c \sec h$. Der veränderliche Theil des Kollimationsfehlers ist also $c \sec h - c$. Je grösser

Fig. 145.



der Höhenunterschied der anvisirten Objekte, desto bemerklicher wird dieser Fehler. Bei kleinen Höhen ist er fast zu vernachlässigen, bei grossen Höhen wächst er dagegen rasch.

ad 2. Neigung der Horizontalaxe.

Eine Neigung der Horizontalaxe i bewirkt, dass die Kollimationslinie einen grössten Kreis $Z'\,A$ (Fig. 145) beschreibt, welcher um den

Winkel i gegen den Vertikalkreis geneigt ist. In der Horizontalebene verschwindet der Einfluss der Neigung ganz.

Während wieder A der am Theilkreise eingestellte Horizontalwinkel ist, wird mit dem auf P eingestellten Fernrohr der auf a senkrechte Vertikalkreis anvisirt. Der Fehler $A\,a$ bestimmt sich aus dem sphärischen Dreieck $P\,a\,A$, in welchem $\angle\, a\,A\,P = (90° - i)$:

$$\operatorname{tg} h = \sin A a \operatorname{tg} (90^0 - i).$$

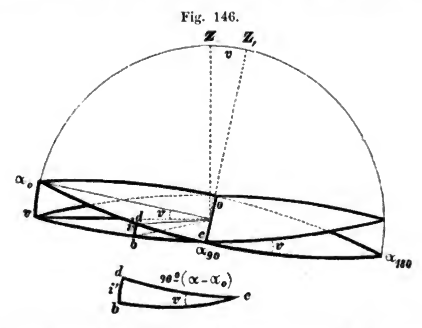
Woraus wegen der Kleinheit von $A\,a$ und i

$$A a = i \operatorname{tg} h.$$

ad 3. Die Neigung der Vertikalaxe.

Durch eine Neigung der Vertikalaxe wird eine Neigung der zu ihr senkrechten Horizontalaxe herbeigeführt, auf welche der Fehler des gemessenen Winkels zurückgeführt werden kann. Die Horizontalaxe beschreibt um die zur Vertikalrichtung um v (Fig. 146) geneigte Vertikal-

Fig. 146.



axe einen Kreis, welcher die Horizontalebene unter dem Winkel v schneidet. Wenn die beiden Axen mit dem Zenith in einer Vertikalebene liegen, so erreicht die Neigung der Horizontalaxe ihr Maximum v, die Ablesung für diese Stellung sei a_0. Rechtwinklig zu dieser Stellung gedreht, fällt die Horizontalaxe in die Horizontalebene bei c und für jeden zwischenliegenden Winkel $a - a_0$ (in der Figur $\angle\, a_0\, o\, d$) wird die Neigung i' (aus dem sphärischen Dreieck $b\,c\,d$)

$$\operatorname{tg} b d = \operatorname{tg} v \sin c d$$

oder

$$\operatorname{tg} i' = \operatorname{tg} v \sin [90 - (\alpha - \alpha_0)].$$

Woraus wegen der kleinen Winkel i' und v:

$$i' = v \cos (\alpha - \alpha_0).$$

Der Fehler der Winkelmessung wird dann nach (2)

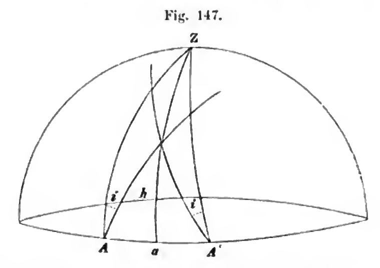
$$i' \operatorname{tg} h \text{ oder } v \cos (\alpha - \alpha_0) \operatorname{tg} h.$$

§ 150. Elimination der Axenfehler bei der Beobachtung.

1. Aus der Darstellung des Kollimationsfehlers ist ersichtlich, dass, wenn man das Fernrohr durchschlägt und die Vertikalaxe um 180° dreht, der Parallelkreis, welchen die Kollimationslinie des Fernrohrs beschreibt, $Z'b$ (Fig. 144) nun auf die andere Seite von ZA fällt. Die Korrektion $Z = \frac{c}{\sin(90° - h)}$ ist also bei der zweiten Instrumentenlage gleich und von umgekehrtem Vorzeichen. Daraus folgt: Das arithmetische Mittel der Ablesung in beiden Lagen giebt den Winkel befreit von dem Kollimationsfehler des Fernrohrs.

2. Dieselbe Betrachtung gilt für den Neigungsfehler der Horizontalaxe. Wenn der Punkt P anvisirt wird, so ist die Ablesung in der einen Lage des Instruments $A + i \operatorname{tg} h$, in der zweiten Lage $A' - i \operatorname{tg} h$ (Fig. 147).

Fig. 147.



Das Mittel der Ablesungen in beiden Stellungen des Fernrohrs giebt den Winkel befreit von dem Axenfehler des Fernrohrs.

3. Der Fehler der vertikalen Axe lässt sich durch Beobachtungen in beiden Lagen nicht eliminiren. Der Einfluss dieses Fehlers erreicht nach der Formel sein Maximum für einen Horizontalwinkel von 90°, dessen eine Visur in der Richtung der grössten Neigung des Horizontalkreises erfolgt. (Von einer Neigung der Vertikalaxe zum Horizontalkreise wird abstrahirt, dieselben sind als rechtwinklig unveränderlich zu einander anzunehmen.) Für dieses Maximum ergiebt die nebenstehende Tabelle für $i \operatorname{tg} h$ die Werthe des zu erwartenden Fehlers.

Für eine annähernde Nivellirung des Instruments, wie sie leicht erreicht werden kann, ist der Einfluss somit für Messungen in ebenem Terrain nicht bedeutend. Sind dagegen hohe Punkte anzuvisiren, so erfordert die Aufstellung des Instruments erhöhte Sorgfalt.

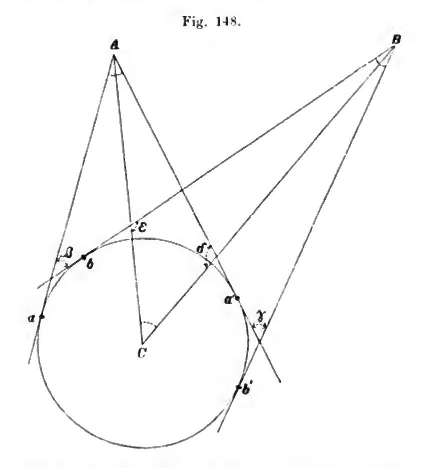
Grösster Fehler wegen Neigung der Vertikalaxe v in Sekunden.

v	Eingestellter Höhenwinkel 1°	5°	10°	45°
1′	1,1	5,3	10,6	60
5′	5,2	26,3	52,9	360
10′	10,5	52,5		
30′	31,4	157,0		

§ 151. Die Excentricität des Fernrohrs.

Eine Excentricität des Fernrohrs bewirkt, dass der gemessene Winkel nicht gleich ist dem Winkel am Mittelpunkt des Horizontalkreises, wie aus folgender Betrachtung erhellt: Wird das Fernrohr in a (Fig. 148) auf A und in b auf B gerichtet, so ist der gemessene Winkel β derjenige,

Fig. 148.



welchen die Richtungslinien $A\,a$ und $B\,b$ mit einander bilden. Derselbe ist nur gleich dem Winkel C, wenn die Entfernung beider Punkte A und B gleich ist.

Visirt man diese Punkte aber in zwei Lagen an, so ist das Mittel aus den beobachteten Winkeln β und γ gleich dem Winkel bei C, denn es ist in Fig. 148

$$\left.\begin{array}{l} C+\varepsilon+\frac{B}{2}=2R \\ C+\delta+\frac{A}{2}=2R \end{array}\right\}$$

$$\left.\begin{array}{l} \beta+\varepsilon+\frac{A}{2}=2R \\ \gamma+\delta+\frac{B}{2}=2R \end{array}\right\}$$

$$2c=\gamma+\beta.$$

Durch Beobachtung in zwei Lagen wird also der Fehler der Excentricität eliminirt.

Die Excentricität des Horizontalkreises.

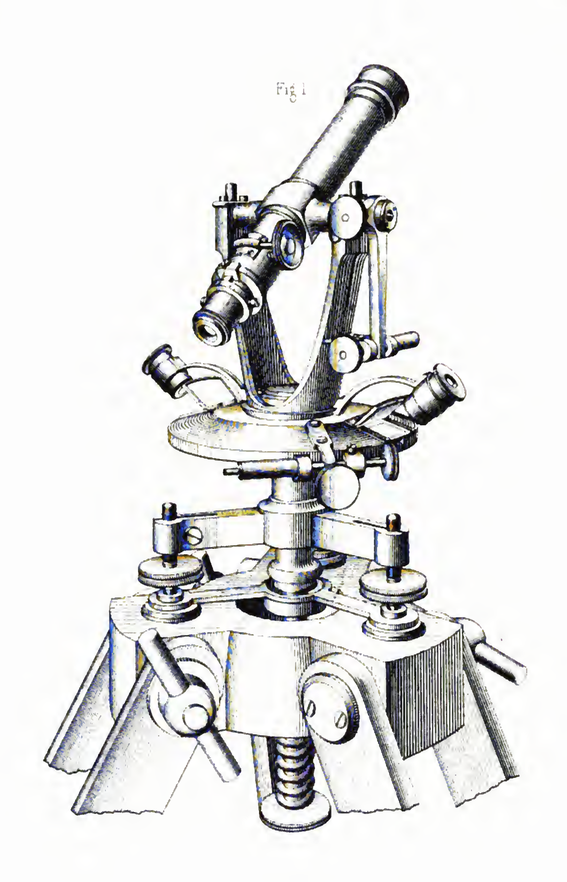
Bereits § 142 Seite 341 ist gezeigt, dass die Excentricität des Kreises durch Ablesung an beiden Enden eines Durchmessers eliminirt wird. Eine Elimination dieses Excentricitätsfehlers findet in gleicher Weise statt, wenn die Ablesung an einem Halbmesser in zwei Lagen des Instruments vorgenommen wird. Für Winkelmessung in zwei Lagen ist daher jedesmal eine Ablesung desselben Nonius resp. Mikroskops ausreichend.

§ 152. Beschreibung eines kleinen Theodoliten.

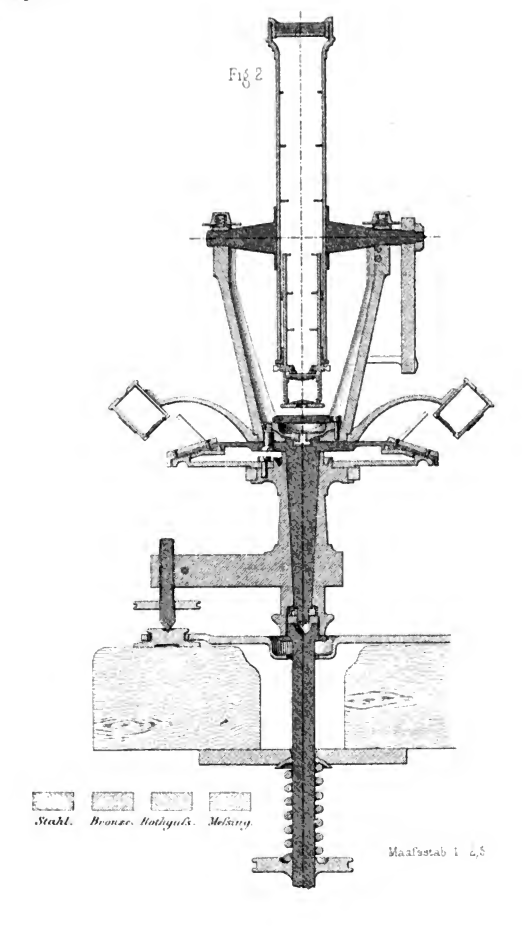
Ein kleiner Theodolit von Lingke (Taf. XXIV), zum Gebrauch bei kleinen Aufnahmen bestimmt, hat folgende Einrichtung:

Der auf drei Stellschrauben ruhende Dreifuss trägt den Horizontalkreis von 11,5 cm Durchmesser. Der Alhidadenkreis, welcher den Horizontalkreis ganz bedeckt, bildet mit dem Vertikalzapfen ein Stück und trägt zwei durch Glasfenster geschützte Nonien, welche vermittelst zweier an einem gemeinsamen Ringe befestigter Lupen abgelesen werden. Die Kreistheilung ist auf halbe Grade ausgeführt, die Nonien gestatten Ablesung auf Minuten. In der Mitte des Alhidadenkreises ist eine Dosenlibelle aufgeschraubt, deren Horizontalstellung vermittelst Schraube und gegenwirkender Feder (siehe Taf. XXIV) regulirt werden kann. Dieselbe wird umgeben und zugleich geschützt von dem becherförmigen Axenträger, welcher in zwei Gabeln ausläuft, in welche die Lager des Fernrohrs eingeschnitten sind. Die Lager sind durch Kappen verdeckt. In diesen Kappen befinden sich kleine Spiralfedern, welche bewirken, dass das Fernrohr mit seinen Axen mit so viel Reibung sich in den Lagern bewegt, dass es in jeder Höhenlage stehen bleibt. Um die Fernrohrlage zu reguliren, befindet sich unterhalb des einen Lagers ein vertikaler Ein-

Einfacher Theo[...]
Firma: Augus[...]



von Hildebrand & Schramm
ngke & C° Freiberg in S.



Maafsstab 1 : 2,5

schnitt, der vermittelst zweier horizontal angeordneter Korrektionsschrauben zusammengepresst bezw. gelöst werden kann.

Das Fernrohr von zehnfacher Vergrösserung, 18 mm Oeffnung, ist mit einem Trieb zur Einstellung versehen. Das Fadenkreuz kann durch zwei horizontale Schrauben korrigirt werden. Die Axen des Fernrohrs sind dem Okular so nahe gerückt, dass sich das Fernrohr direkt durchschlagen lässt. Mit der einen Axe desselben ist eine lange Messingzunge verbunden, welche in das von aussen am Axenträger befindliche Mikrometerwerk eingreift. Zum Feststellen des Fernrohrs befindet sich über dem Mikrometerwerk eine Klemmschraube am Axenlager. Die Klemmung und Feinstellung im Azimut wird durch eine unter dem Horizontalkreise befindliche Alhidade bewirkt, welche mit Centralklemme (gegen die Buchse des Vertikalzapfens direkt wirkend) und Mikrometerwerk versehen ist. In dieses Mikrometerwerk greift von oben ein mit dem Alhidadenkreise verschraubter Zapfen ein.

§ 153. Aufstellung und Korrektur des kleinen Theodoliten.

1. Das beschriebene Instrument wird auf seinem Stativ mittelst einer von unten durch den Stativkopf gesteckten Centralschraube befestigt. Eine den Stiel dieser Schraube umgebende Spiralfeder drückt gegen eine Unterlageplatte an der Unterseite des Stativkopfes. Dabei ist eine zur genauen Centrirung erforderliche Bewegung des Instruments auf dem Stativkopf dadurch ermöglicht, dass die Unterlageplatte die weite Bohrung der Kopfplatte überdeckt und mit dem Instrument (dessen Füsse in drei mit einander verbundenen Metallschuhen stehen, Fig. 1 auf Taf. XXIV) seitlich verschiebbar bleibt. Ein eingegrabener Pfahl oder Stein mit einem Kreuzschnitt bezeichnet den genauen Ort der Theodolitenstation. Ueber demselben wird das Stativ aufgestellt. Nachdem dasselbe so berichtigt ist, dass ein von der Centralschraube auf den Kreuzschnitt herabgelassener Senkel einspielt, werden die Stativfüsse durch die Flügelschrauben festgesetzt und gleichmässig in den Boden getreten.

2. Da das Instrument nur eine Dosenlibelle besitzt, so ist die Horizontalstellung einfach dadurch auszuführen, dass man die Libelle in zwei um 90° verschiedene Einstellungen des Horizontalkreises mittelst der Fussschrauben zum Einspielen bringt und dann prüft, ob sich die Blase bei einer vollen Drehung des Kreises nicht aus dem auf dem Glase eingeschliffenen Ringe entfernt. Lässt sich dies nicht erreichen, so ist die Libellenebene nicht der Ebene des Alhidadenkreises parallel. Geringe Abweichungen üben auf die Horizontal-Winkelmessung keinen schädlichen Einfluss aus.

Die Korrektur wird nöthigenfalls wie folgt ausgeführt: Man stellt den Alhidadenkreis in der Stellung fest, in welcher die Libelle den

grössten Ausschlag zeigt, und korrigirt mit den Korrektionsschrauben der Libelle die Hälfte dieses Ausschlags. Indem man die andere Hälfte mit den Fussschrauben fortschafft, stellt man die Vertikalaxe des Instruments zugleich vertikal.

3. Die Korrektion des Fadenkreuzes (Kollimationsfehler). Man visirt einen Punkt an, schlägt das Fernrohr durch und dreht den Alhidadenkreis um genau 180°. Wenn dann der vorher anvisirte Punkt nicht am Fadenkreuz einspielt, so ist ein Kollimationsfehler vorhanden, welchen man korrigirt, indem man den Fadenrahmen mittelst der horizontalen Korrektionsschrauben am Okular um die Hälfte des beobachteten Abstandes nach dem Beobachtungsobjekt zu verschiebt. Eine nun wiederholte doppelte Visur muss das Objekt in beiden Lagen an das Fadenkreuz bringen.

4. Eine Korrektur der horizontalen Axe lässt sich nicht an diesem Instrument vornehmen. Ob dieselbe rechtwinklig zur vertikalen Axe liegt, lässt sich mit Hülfe des künstlichen Horizonts in folgender Weise feststellen: Nachdem das Instrument vertikal gestellt ist (nach 1), visirt man einen hochgelegenen Punkt an, kippt das Fernrohr und richtet es auf das Spiegelbild dieses Punktes im künstlichen Horizont. Dieses Bild muss dann ebenfalls am Fadenkreuz einspielen, anderenfalls ist ein Axenfehler vorhanden. Befinden sich Korrektions-Einrichtungen an einem der Lager, so ist die Hälfte des beobachteten Fehlers mit Hülfe derselben fortzuschaffen.

Es ist Seite 366 gezeigt worden, wie man den Fehler der horizontalen Axe und den Kollimationsfehler dadurch eliminirt, dass man nach einer Winkelmessung das Fernrohr durchschlägt und die Messung wiederholt. Man hat also nur auf das Einspielen der Libelle zu achten. Da bei Messungen in der Ebene hierbei (nach der Tabelle Seite 367) nicht sehr grosse Genauigkeit erfordert wird, so ist die Benutzung einer Dosenlibelle gerechtfertigt.

Die Horizontal-Winkelmessung mittelst des kleinen Theodoliten ist einfach und bedarf keiner besonderen Erklärung. Ueber die Anordnung giebt das nebenstehende Schema Aufklärung.

Um sicher zu sein, dass die Stellung des Horizontalkreises sich nicht geändert hat, ist immer eine vollständige Rundmessung vorzunehmen, das heisst, das Anfangsobjekt ist vor dem Durchschlagen noch einmal anzuvisiren.

Auf die Beleuchtung der Objekte ist namentlich bei geringen Entfernungen zu achten. Von der Seite beleuchtete Flaggenstangen oder dergl. ergeben eine um Minuten verschiedene Richtung, je nachdem die Sonne von links oder von rechts darauf scheint. Der unterste Punkt solcher vertikalen Objekte ist mit dem Fernrohr stets aufzusuchen.

Schema für das Beobachtungsbuch.

Zielpunkt	Vor dem Durchschlagen		Nach dem Durchschlagen		Mittel der Ablesungen	Reducirtes Mittel	Bemerkungen
	Non. I.	Non. II.	Non. I.	Non. II.			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	Mit Null beginnend 7.	8.

Für die schliessliche Zusammenstellung werden die Kolumnen 2 bis 5 fortgelassen.

Um die Richtung des Meridians mit diesem Instrument zu finden, bedient man sich entweder des Polarsterns, oder eines hellen Sterns, dessen Azimut man nach der wahren Ortszeit der Beobachtung berechnet. Kann man ein dunkles Sonnenglas vor das Okular schrauben, so ist kaum eine ungefähre Kenntniss der Zeit nothwendig. Man richtet das Fernrohr Vormittags gegen die Sonne, stellt den oberen oder unteren Rand am Fadenkreuz ein und notirt die Uhrzeit.*) In dieser Elevation festgestellt, lässt man das Instrument bis zum Nachmittag stehen und erwartet die Wiederkehr der Berührung desselben Sonnenrandes am Fadenkreuz. Das Mittel zwischen den beiden Ablesungen Vormittags und Nachmittags am Horizontalkreise ist die Einstellung für den Meridian. Ehe das Instrument fortgenommen wird, ist es auf diese Mitte einzustellen. Einige Markirstäbe vor- und rückwärts kann man dann so ausrichten, dass die Richtung des Meridians durch dieselben gekennzeichnet ist. Noch sicherer wird diese Richtung relativ fixirt durch Einstellung mehrerer entfernter Objekte im Horizont vor der Vormittags- und nach der Nachmittags-Beobachtung.

Fig. 149.

*) Wenn kein Sonnenglas vor das Okular geschraubt werden kann, so lässt sich das Sonnenbild mit dem Fadenkreuz auf einem weissen Papier hinter dem Okular auffangen und mit ziemlicher Genauigkeit beobachten. Ein bewährtes Verfahren ist, den ersten Rand an dem Fadenkreuz des Fernrohrs wie in *a* Fig. 149, den zweiten Rand wie in *b* zu beobachten. Zwischen der ersten und zweiten Randbeobachtung wird nur das Fernrohr gekippt, die Horizontal-Einstellung bleibt unberührt.

II. Universal-Instrumente.

§ 154. Das kleine astronomische Universal-Instrument.

Auf drei Stellschrauben ruht ein messingener Dreifuss, mit welchem die stählerne Vertikalaxe des Instruments fest verbunden ist (Tafel XXV).

Die Vertikalaxe ist konisch geformt. Eine Buchse aus Rothguss, passend zu diesem Stahlkonus ausgeschliffen, wird über die Vertikalaxe gestreift und bildet den Träger für den ganzen oberen Theil des Instruments. Diese Buchse ruht mit ihrem unteren Ende auf einem etwa 3 mm breiten ringförmigen Absatz *a* der Vertikalaxe. Unterhalb dieses Absatzes ist der getheilte Horizontalkreis *h* des Instruments um den Stahlkonus drehbar befestigt. Die darüberliegende, mit dem Stahlkonus bei *a* verschraubte Messingplatte mit Zunge regulirt die Reibung, mit welcher sich der bei diesem Instrument nicht feststellbare Horizontalkreis verstellen lässt. Der Horizontalkreis wird umfasst von zwei Alhidadenarmen, von denen der obere *b* mit dem drehbaren Obertheile des Instruments fest verbunden ist, während der untere *c* ein selbstständiges Stück bildet. Dieser Arm ist unter dem Horizontalkreise um die Vertikalaxe drehbar und mit einer langen radial gelagerten Klemmschraube, deren gereifelter Kopf seitlich unter dem Horizontalkreise hervorragt, gegen die Axe feststellbar.*) In das Mikrometerwerk, bestehend aus Mikrometerschraube und gegenwirkender Feder, welches sich auf dieser unteren Alhidade befindet, greift die Vertikal-Stahlzunge der oberen Alhidade *b* ein, so dass der Horizontalkreis vollkommen isolirt bleibt. Ist also der untere Arm *c* der Alhidade festgeklemmt, so wird der ganze obere Theil des Instruments durch die Mikrometerschraube bewegt. Ueber die Rothgussbuchse ist ein Ring (Tafel XXV Aufriss) gestreift, welcher mit den Axenträgern der Horizontalaxe ein Stück bildet. An demselben Ring sind die um 90° zu den Axenträgern angeordneten Mikroskopenträger für den Horizontalkreis festgeschraubt (Tafel XXVI, Schnitt *A C*).

Die H o r i z o n t a l a x e trägt an der einen Seite das Fernrohr und den Theilkreis, auf der anderen Seite eine schwere Scheibe als Gegengewicht mit einem Einstellungskreise auf ganze Grade getheilt.

Auf die Horizontalaxe sind zwischen den Lagern aufgestreift: ein Rahmen mit den Trägern der Mikroskope für den Höhenkreis, dem Höhenniveau und Stahlzunge *n* für die Einstellung nach dem Niveau (Tafel XXVI, Grundriss), ferner ein Ring mit Klemmvorrichtung und Stahlzunge *q* für die Einstellung des Vertikalkreises. Die Stahlzungen greifen in die an den Axenträgern befindlichen Mikrometerwerke (Schrauben und Federn) ein (Tafel XXV *d d*), welche, symmetrisch angeordnet, für den Gebrauch des Instruments in zwei Lagen, unter Umlegen der Horizontalaxe, passen.

*) Die perspektivische Ansicht des geodätischen Universal-Instruments Fig. 150 lässt die Anordnung dieser Theile zu einander noch weiter erkennen.

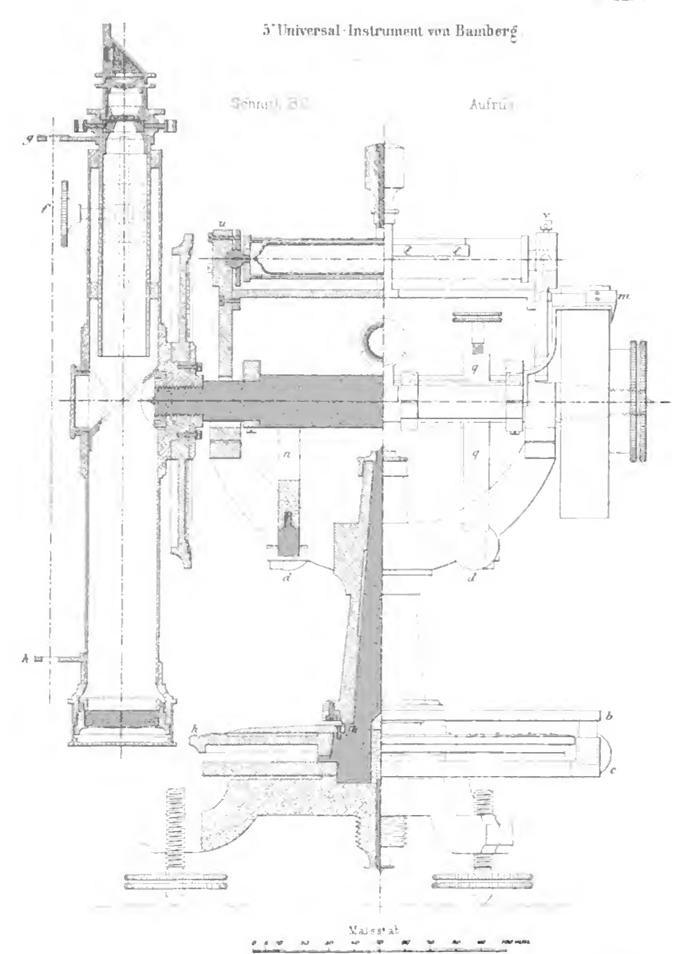
5" Universal Instrument von Bamberg.

Grundriss

Schnitt AC

Schnitt DE

5" Universal-Instrument von Bamberg

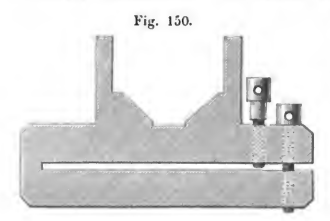


Im Besonderen ist zu den einzelnen Theilen des Instruments noch Folgendes zu bemerken:

1. Der Horizontalkreis von 12,5 cm Durchmesser ist von 10 zu 10 Minuten auf Silber getheilt und von 0—360° (rechts herum) beziffert. Die Mikroskope gestatten eine Ablesung auf 20 Sekunden. Dieselben sind bereits § 11, Seite 30 beschrieben worden. Um die diametrale Stellung derselben berichtigen zu können, sind die Schraubenlöcher in den Mikroskopenträgern etwas erweitert und werden von grossen Schraubenköpfen bedeckt. Die Mikroskope selbst werden von zwei Druckringen gehalten, welche gelöst werden müssen, wenn man die Mikroskope der Theilung nähern oder entfernen will. Eine solche Verstellung wird nur dann nöthig, wenn es durch Verschieben des Okularrohrs nicht gelingt, den Doppelfaden und die Theilung zugleich deutlich einzustellen. Der Werth der Trommeltheile wird durch eine solche Verstellung geändert und muss neu bestimmt werden.

2. Die Axenlager sind Gabeln von der in Fig. 150 dargestellten Form aus Glockenmetall. Die Flächen, auf denen die stählerne Axe aufruht, sind etwas gewölbt. Um das eine der beiden Lager etwas höher oder niedriger legen zu können, ist die in der Figur ersichtliche Korrektionsvorrichtung vorhanden. Das Lager ist so durchschnitten, dass, wenn eine Schraube gelöst ist, durch Anziehen der anderen das Lager gesenkt werden kann; ebenso kann durch Nachlassen der unteren und Anziehen der höheren das Lager erhöht werden. Nach vorgenommener Korrektur müssen beide Schrauben angespannt sein.

Fig. 150.



3. Die Horizontalaxe. Die Theile der Axe, welche in den Lagern ruhen, sind glasharte Stahlcylinder, bei dem in Rede stehenden kleinen Instrument aus einem Stück mit der ganzen Axe. Diese Theile des Instruments erfordern vor allen anderen besondere Sorgfalt bei der Anfertigung und eine äusserst aufmerksame Behandlung beim Gebrauch. Die cylindrische Form der Axen prüft man mit Hülfe der dem Instrument beigegebenen Reiterlibelle, deren Füsse dieselbe Auseinanderstellung wie die Axenlager haben (*u v*). Wenn die Libelle auf die Axe aufgesetzt ist, so darf sich bei einer vertikalen Drehung des Fernrohrs die Stellung der Blase nicht ändern, anderenfalls ist der Fehler in einer unregelmässigen Form der Zapfen zu suchen.

4. Der Höhenkreis, mit dem Fernrohr fest verbunden, ist von nahe derselben Grösse und mit derselben Theilung versehen, wie der Horizon-

talkreis. Das Fernrohr hat 27 mm Oeffnung, 24,5 cm Brennweite und ist mit zwei Ramsdenschen Okularen von zwanzig- und dreissigfacher Vergrösserung versehen, denen ein Sonnenglas sowie ein Okularprisma beigegeben sind. Zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes für Nachtbeobachtungen befindet sich eine Oeffnung in der Verlängerung der Horizontalaxe am Fernrohr, welche durch einen Deckel verschraubt ist. Dieser Deckel kann mit einer matten Glasplatte vertauscht werden. Das durch diese Glasplatte hindurchfallende Licht fällt auf eine 45° geneigte weisse Blende, welche für die vom Objektiv kommenden Lichtstrahlen ausgeschnitten ist. Das von der Blende zerstreut in das Okularrohr geworfene Licht beleuchtet das Fadennetz des Gesichtsfeldes.*) Es ist ein vertikaler und ein horizontaler Doppelfaden als Fadennetz ausgespannt, ausserdem sind noch je zwei Vertikalfäden zu beiden Seiten des doppelten Mittelfadens ausgespannt zur Benutzung bei Durchgangsbeobachtungen. Das Okularrohr ist mit einem Triebe *f* verstellbar eingerichtet. Zwei gegen die Zahnstange des Triebes wirkende, horizontal liegende Korrektionsschrauben sichern die centrische Führung des Okularrohrs und dienen zur Vertikalstellung der Vertikalfäden des Fernrohrs, wie auch zur Feststellung des Okularauszuges, sobald derselbe seine richtige Stellung hat. (Diese Korrektion ist an dem auf Tafel XXV dargestellten Instrument in Fortfall gekommen.) Schliesslich sind noch zwei Suchdiopter *g h* am Fernrohr befestigt.

5. Der auf die Horizontalaxe aufgestreifte Rahmen dreht sich leicht, aber ohne Spielraum um diese und trägt zu beiden Seiten die Ablesungsmikroskope des Höhenkreises, welche in mit dem Rahmen verschraubten Trägern horizontal angebracht sind, in derselben Weise wie die früher beschriebenen, aufrechtstehenden Mikroskope des Horizontalkreises. Rechtwinklig zu den Mikroskopen ist quer über den Rahmen die Libelle (*C* im Grundriss) zum Horizontiren derselben fest eingelagert. Ferner befindet sich auf dem Rahmen noch ein Indexarm für den Einstellungskreis *m* und nach unten ein Stahlzapfen *n*, welcher zwischen Schraube und Feder unten am Axenträger eintritt. Der mit einem eben solchen Stahlzapfen versehene Klemmring *q* für die Feinstellung der Fernrohraxe ist symmetrisch auf der andern Seite auf der Axe und unabhängig vom Rahmen angebracht.

§ 155. Das geodätische Universal-Instrument.

Dieses Instrument unterscheidet sich von dem beschriebenen wesentlich dadurch, dass die Horizontalaxe unveränderlich in festen Lagern ruht. Die Axenlager sind durch Deckel verschlossen, eine Korrektionsvorrichtung zur Veränderung der Höhenlagen eines Lagers fehlt.

Da ein Umlegen der Horizontalaxe nicht stattfindet, so sind die Mikroskopenträger des Höhenkreises fest mit dem Untertheil verbunden

*) Bei einigen Instrumenten ist eine solche Blende nicht im Fernrohr fest, sondern wird zum Gebrauch auf den Objektivrand aufgestreift.

und das Niveau ebenfalls in derselben Anordnung wie zu den Mikroskopen, aber unter der Horizontalaxe und ganz unabhängig von dieser angebracht.

Das Instrument wird dadurch fester und unveränderlicher, die Reiterlibelle fällt fort, und die zartesten Theile, Axe und Libelle, sind äusseren Einflüssen entzogen.

Da der Einfluss einer Neigung der Horizontalaxe sich bei allen Winkelmessungen durch zweckmässige Anordnung der Beobachtungen vollständig eliminiren lässt, so lassen sich auch die meisten astronomischen Beobachtungen mit dem Universal-Instrument der letzteren Einrichtung vornehmen. Die Benutzung eines geodätischen Universal-Instruments zu Durchgangsbeobachtungen ist jedoch durch diese veränderte Konstruktion beeinträchtigt.

Fig. 151.

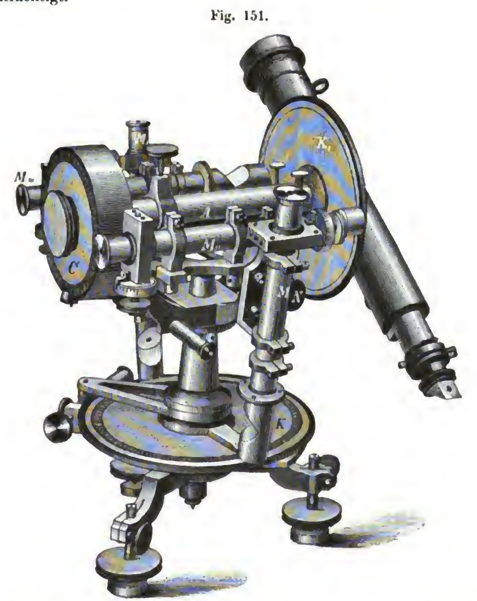


Fig. 151 stellt ein geodätisches Universal-Instrument mit 13,5 cm-Kreisen dar. Die Dreh- und feststellbaren Theilkreise K und $K_{\prime}$ sind

gleichwerthig getheilt, C ist das Kontregewicht für das Fernrohr und den Horizontalkreis und zugleich mit einer Theilung für rohe Einstellung versehen. $M M_{,}$ sind die Ablesungsmikroskope für den horizontalen, $M_{,,}$ $M_{,,,}$ diejenigen für den vertikalen Theilkreis. Bei N wird das Ende des Niveaus sichtbar, welches parallel zur Verbindung der Höhenmikroskope und rechtwinklig zur optischen Axe derselben hier fest eingelagert ist.

§ 156. Prüfung und Berichtigung der Axenfehler des Universal-Instruments.

1. Der Kollimationsfehler.

Am einfachsten erkennt man den Kollimationsfehler, indem man eine weisse Scheibe aufstellt, auf welcher zwei schwarze Punkte kenntlich gemacht sind in einem horizontalen Abstande von einander, gleich der doppelten Excentricität des Fernrohrs. Visirt man den einen dieser Punkte an, schlägt das Fernrohr durch und dreht nun die Vertikalaxe um 180°, so muss das Fernrohr auf den zweiten Punkt eingestellt sein. Ist dies nicht der Fall, so ist die beobachtete Abweichung gleich dem doppelten Kollimationsfehler. Kann man einen sehr entfernten Punkt anvisiren, so dass die Excentricität des Fernrohrs gegen diese Entfernung verschwindet, so ist die Bestimmung ebenso an diesem einen Punkte auszuführen.

Handelt es sich um sehr genaue Korrektion des Kollimationsfehlers, so ist es am besten, nach Einstellung eines sehr entfernten Objekts den Horizontalkreis geklemmt zu lassen und bei unveränderter Stellung des letzteren die Horizontalaxe umzulegen und die Hälfte der sich nun herausstellenden Entfernung zwischen Objekt und Mittelfaden durch Verschiebung des Fadennetzes zu korrigiren.

Ein nochmaliges Umlegen dient zur Prüfung, ob die Korrektion gelungen ist. Nach dieser Korrektion darf der Okularauszug nicht mehr verschoben werden.

Wie statt des festen Punktes ein Stern benutzt werden kann, wird bei den Durchgangsbeobachtungen gezeigt werden.

Der Kollimationsfehler wird durch seitliche Verstellung des Fadenkreuzes mit Hülfe der am Okularrohr befindlichen Horizontalschrauben beseitigt. (Siehe Fadenkreuz § 2. s. Seite 16.)

2. Der Fehler in der Normalstellung der Horizontalaxe zur Vertikalaxe.

Mittelst des Aufsatzniveaus (Reiterlibelle) wird die Horizontalaxe zunächst in einer Lage horizontal gestellt, wozu eine Lage parallel der Verbindung zweier Fussschrauben zu wählen ist. (Siehe Libelle Seite 35.) Wenn dann das Instrument um 180° um seine Vertikalaxe gedreht wird, so ist die mittelst des Aufsatzniveaus nun gefundene Neigung gleich dem doppelten Fehler der Normalstellung beider Instrumentenaxen zu einander

Wenn man den gefundenen Neigungsfehler ($2\,\alpha$) zur Hälfte mittelst der Lagerschrauben des Horizontalaxenlagers korrigirt, so stehen beide Axen normal zu einander. Eine weitere Korrektion der übrigbleibenden Neigung α mittelst der Fussschrauben stellt die Vertikalaxe (und damit das ganze Instrument) in der Ebene der Horizontalaxe vertikal.

Um die Vertikalaxe sodann absolut vertikal zu stellen, dreht man das Instrument um 90° im Azimut und berichtigt die Horizontalstellung des Niveaus durch die nun unter der Horizontalaxe befindliche dritte Fussschraube. Bei einer ganzen Drehung um die Vertikalaxe muss sodann die Libelle unverändert stehen bleiben. Handelt es sich nur um Horizontal-Winkelmessungen in der Ebene, wobei gewöhnlich mehr als bei anderen Beobachtungen Schnelligkeit erwünscht ist, so genügt es fast immer, wenn die Blase des Niveaus in keiner Stellung aus dem Bereich der Skalentheile hinausweicht. (Nach der Tabelle Seite 367 würde eine Abweichung von 10 Skalentheilen zu je 6 Sekunden bei 5° Höhenwinkel etwa 5″ Fehler als Maximum ergeben.)

Visur und Ablesung.

Der anzuvisirende Punkt wird ungefähr in die Mitte des Fernrohrs gebracht, darauf die Klemmschraube der Alhidade und der Horizontalaxe festgesetzt und dann das Okular im Rohr zum deutlichen Sehen der Fäden scharf eingestellt. Schliesslich wird das Objekt mittelst der Feinschraube zuerst zwischen die horizontalen Doppelfäden gebracht, sodann zwischen die vertikalen, also nunmehr in das kleine Fadenquadrat genau eingestellt.

Darauf erfolgt die Ablesung zunächst am Mikroskop *A*, dann am Mikroskop *B*. Man misst die Winkel von rechts nach links herum. Ist eine Reihe Objekte einzuvisiren, so folgt auf eine Rundmessung von rechts nach links eine zweite von links nach rechts bei derselben Lage des Fernrohrs. Nun schlägt man das Fernrohr durch und berichtigt dann erst wieder die Vertikalstellung des Instruments. Während der Rundmessung ist eine Korrektur der Horizontalstellung des Azimutalkreises zu vermeiden. Darauf werden die Einstellungen wiederholt in derselben Weise, wie oben angegeben. Soll dann zur Erhöhung der Genauigkeit die Rundmessung öfter wiederholt werden, so wird zwischen jedem folgenden Satz eine Verstellung des Horizontalkreises zur Vertikalaxe vorgenommen.

Beispiel für die Messung und Journalisirung von Horizontalwinkeln.

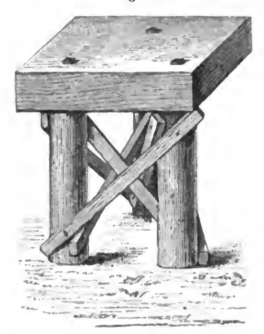
(Kleines Universal-Instrument.)

Beobachtet	H. Lth.	Lg.	A	S	J	V	Lage des Fernrohrs	Folge der Messungen	Bemerkungen
	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″			
Mikroskop *A*	113 28 12,0	144 7 4,5	198 49 25,5	213 52 22,0	262 41 19,0	284 13 12,75	Links	Vorwärts	
„ *B*	12,0	2,5	25,5	19,0	12,5	7,25			
A	113 28 20,5	144 7 7,75	198 49 27,75	213 52 22,75	262 41 17,5	284 13 15,0		Rückwärts	
B	23,0	7,0	27,0	20,25	12,25	7,5			
Mittel	113 28 33,75	144 7 10,88	198 49 52,88	213 52 42,00	262 41 30,62	284 13 21,25			
Satz	0 0 0,00	30 38 37,13	85 21 19,13	100 24 8,25	149 12 56,87	170 44 47,50			

§ 157. Aufstellung des Universal-Instruments.

Zur Aufstellung des Instruments genügt nur für vorübergehende Arbeiten das zu demselben gehörige Stativ. Wird das Instrument an einer Beobachtungsstation aufgestellt zu astronomischen Ortsbestimmungen oder Regulirung der Chronometer, so benutzt man ein eingegrabenes Stativ. Als solches hat sich z. B. das folgende (Fig. 152) bewährt: Die Pfähle aus Kiefern oder anderem Holz, etwa 12 cm stark und $1^1/_2$ m bis 2 m lang, wurden im gleichseitigen Dreieck eingegraben und eingeschlagen, dass sie noch etwa 80 cm über dem Boden hervorragten. Auf die gerade abgeschnittenen Köpfe der Pfähle wurde eine quadratische Platte von gut ausgetrocknetem Holz (Eichen oder Eschen z. B.), etwa 12 bis 15 cm stark, mit drei grossen Holzschrauben befestigt. Diese Pfähle wurden unter einander noch durch sechs kreuzweis diagonal angenagelte Latten oder Stangen verstrebt. Auf diese Platte wurden die Fussplättchen des Instruments unmittelbar aufgelegt.

Fig. 152.



Zum Schutz des so aufgestellten Instruments ist dann noch ein Zelt

Fig. 153.



erforderlich, welches zweckmässig so angefertigt wird, wie aus Fig. 153 *) ersichtlich. Vier Eckstangen, unten in den Boden gestossen, oben auf zwei

*) Aus C. Hoffmanns Trigonometrisches Nivellement der Oder. Berlin 1841. Diese einfachen Einrichtungen lassen sich ohne Weiteres mit den an Bord vorhandenen Hülfsmitteln herstellen.

gegenüberliegenden Seiten durch dreieckige, oben abgerundete Bügel, auf den beiden anderen Seiten durch gerade Bügel, welche an den Stangen eingehakt werden, verbunden, bilden das Gerüst. Eine über die Bügel gespannte, geölte Presenning bietet Schutz gegen den Regen, während die vier Seiten eine Segeltuchbekleidung haben, welche auf jeder Seite nach Belieben geöffnet, aufgerollt oder gegen die Sonne schräg herausgesteckt werden kann. An den vier oberen Ecken des Zeltes werden Stagleinen befestigt und nach eingeschlagenen Pfählen steif gesetzt. Solche Zelte werden zweckmässig etwa 2 m im Quadrat gross angefertigt.

§ 158. Der Höhenkreis.*)

Mittelst des Höhenkreises misst man das Komplement der Höhe, die Zenithdistanz. Man visirt das Objekt mittelst des Fernrohrs an und liest die Einstellung des mit dem Fernrohr fest verbundenen Höhenkreises ab. Wenn man dann das Instrument um 180° um seine Vertikalaxe dreht, so ist das Fernrohr auf einen Punkt gleicher Zenithdistanz gerichtet. Indem man das Fernrohr auf das zuerst anvisirte Objekt einstellt, beschreibt es einen Bogen gleich der doppelten Zenithdistanz. Der halbe Unterschied beider Ablesungen des bis 360° durchgetheilten Höhenkreises ist daher die Zenithdistanz, wenn die folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

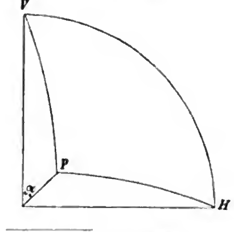
1. Die Kollimationsaxe muss rechtwinklig zur genau horizontalen Drehaxe gerichtet sein.

2. Die Ablesungsebene des Höhenkreises muss unveränderlich oder die Aenderung derselben bekannt sein.

ad 1. Der Einfluss einer Abweichung der Axen von ihrer normalen Stellung ergiebt sich aus folgender Betrachtung:

Wenn (Fig. 154) an der Himmelskugel der Punkt, dessen Zenithdistanz gemessen werden soll, P ist, die vertikale Axe des Instruments nach V und die horizontale Axe nach H gerichtet ist, so ist $PV = z$ die auf den Pol V bezogene Zenithdistanz. Sind der Bogen PH und der Bogen VH beide gleich 90°, so misst der Winkel bei H die Zenithdistanz. Wenn aber wegen des Kollimationsfehlers $PH = 90° + c$ und wegen der Axenneigung $VH = 90 - i$ ist, so bestimmt sich α aus dem schiefwinklig sphärischen Dreieck PVH

Fig. 154.



$$\cos \alpha = - \sin c \sin i + \cos c \cos i \cos H$$

*) Ein besonderes Höhen-Instrument soll hier nicht beschrieben werden. Das Folgende findet unmittelbar Anwendung auf den Höhenkreis des Universal-Instruments.

woraus nach bekannter Herleitung (siehe § 125)

$$H - \alpha = \frac{c^2 + i^2}{2} \operatorname{ctg} H + i\,c \operatorname{cosec} H.$$

Mit Hülfe des Aufsatzniveaus kann man die Horizontalaxe sehr genau korrigiren. Hat man i ganz fortgeschafft, so ist die Korrektion:

$$\tfrac{1}{2}\, c^2 \operatorname{ctg} H.$$

Sie beträgt also bei 45° Zenithdistanz $\frac{1}{2} c^2$ und wächst bei kleinen Zenithdistanzen schnell, verschwindet aber für gewöhnliche Fälle fast ganz. Für $c = 10'$ ist $\frac{c^2}{2} = 0{,}9$ (durch Division mit 206265 die Sekunden in Längenmass verwandelt), woraus

$$9'' \text{ für } z = 5^\circ\,40'$$
$$18'' \;\;\text{„}\;\; z = 2^\circ\,50'$$

ad 2. Die Abweichung der Ablesungsebene von der Horizontalen wird durch das Höhenniveau kontrolirt. Dasselbe ist mit den Mikroskopen des Höhenkreises fest verbunden, so dass die Ablesung des Niveaus unabhängig von der Stellung des Instruments die Ablesungsebene der Mikroskope ergiebt.

Bei jeder Einstellung des Höhenkreises ist unbedingtes Erforderniss Ablesung des Höhenniveaus. Die absolute Stellung der Blase ist ohne Bedeutung, es sei denn, dass man für eine bestimmte Niveauablesung den Zenithpunkt finden will. Im Allgemeinen kommt nur die Differenz der Ablesungen bei zwei korrespondirenden Einstellungen des Höhenkreises in Betracht. Die Theilung des Niveaus ist daher so angeordnet, dass sie der Theilung des Höhenkreises entgegengesetzt fortläuft, so dass eine Verschiebung der Blase vorwärts eine Verringerung der Mikroskopenablesung zur Folge hat, also eine positive Korrektion erfordert. Indem man die erste Einstellung a am Höhenkreise vornimmt und die Libelle α abliest, durchschlägt und die zweite Einstellung b und die Libelle β abliest, erhält man:

die Zenithdistanz aus

$$\tfrac{1}{2}\,[(b - a) + (\beta - \alpha)].$$

Hierin bezeichnet a stets die Lage, in welcher durch Heben des Objektivs die Ablesung wächst. Zur Bildung der Differenz wird erforderlichenfalls b um 360° vermehrt.

den Zenithpunkt des Höhenkreises aus:

$$\tfrac{1}{2}\,(a + b + \beta - \alpha).$$

Beispiel.

Objekt	Lage I = a				Lage II = b				Libelle	
	Kreisablesung	Mikroskop I.	Mikroskop II.	wirkliche Ablesung	Kreisablesung	Mikroskop I.	Mikroskop II.	wirkliche Ablesung	α	β
Kirchthurmspitze	89° 0'	6' 0,5	6' 0,5	89° 6' 1,0"	270° 50'	5' 8	5' 10	270° 55' 18"	3,7 21,2	25,7 7,8

$$a = 89^\circ\ 6'\ 1{,}0''$$
$$b = 270^\circ\ 55'\ 18{.}0''$$
$$0^\circ\ 1'\ 19{,}0''$$
$$+\ 28{.}4''$$
$$0^\circ\ 1'\ 47{,}4''$$

$$\alpha = 12{,}45$$
$$\beta = 16{,}75$$
$$\beta - \alpha = + 4{,}3 \times 6{,}6 = + 28{,}38''$$
$$\alpha - \beta = - 4{,}3 \times 6{.}6 = + 28{,}38''$$

Zenithpunkt $= 0^\circ\ 0'\ 53{,}7''$
und die Zenithdistanz $178^\circ\ 10'\ 43{,}0''$
Korr. f. Libelle $-\ 28{,}4''$
$178^\circ\ 10'\ 14{.}6''$
Zenithdistanz $= 89^\circ\ 5'\ 7{,}3''$

Ist die Libelle von der Mitte getheilt, so muss man die Ablesungen der beiden Blasenenden mit Nord und Süd bezeichnen. Die Korrektion ist dann $\frac{S - N}{2}$, positiv, wenn die Theilung des Kreises nach Süd abnimmt, negativ, wenn sie nach Süd zunimmt.

Beispiel.

Objekt	Lage I = a				Lage II = b				Libelle			
	Kreis-ablesung	Mikroskop		wirkliche Ablesung	Kreis-ablesung	Mikroskop		wirkliche Ablesung	a		b	
		I.	II.			I.	II.		S	N	S	N
Kirchthurm-spitze	89° 6'	5' 23"	5' 28"	89° 5' 51"	270° 56'	5' 10,5"	5' 18"	270° 55' 28,5"	11,3	5,7	7,1	9,9

$$a = 89^\circ\ 5'\ 51''$$
$$b = 270^\circ\ 55'\ 28{,}5''$$
$$178^\circ\ 10'\ 22{,}5''$$
Korr. f. Libelle $-\ 9{,}2''$
$178^\circ\ 10'\ 13{,}3''$
Zenithdistanz $= 89^\circ\ 5'\ 6{,}7''$

$$S = 18{,}4$$
$$N = 15{,}6$$
$$\frac{S - N}{2} = 1{,}4 \times 6{,}6'' = 9{,}2''$$

§ 159. Bestimmung der Richtung des Meridians.

Man bestimmt die Richtung des Meridians durch Festlegung des Azimuts eines gut sichtbaren unveränderlichen Punktes. Dieses Azimut wird bestimmt durch Vergleichung desselben mit dem Azimut eines Gestirns, welches man aus der bekannten Breite und Zeit für den Moment berechnet, in welchem man mittelst des Instruments das Gestirn anvisirt. Das Verfahren ist Folgendes: Das Instrument wird gut nivellirt, der nach Azimut zu bestimmende Punkt anvisirt und mit Hülfe desselben der Kollimationsfehler berichtigt sowie das Fadenkreuz durch die horizontalen Korrektionsschrauben der Okularrohrführung vertikal und horizontal gestellt. Darauf wird eine genaue Einstellung des Punktes notirt und sodann das Fernrohr gegen das Gestirn gerichtet. Wenn das Gestirn sich in dem Halbkreis des Gesichtsfeldes befindet, in welchem es sich

auf den Vertikalfaden zu bewegt, wird die Vertikalaxe festgeklemmt und die Höhenlage des Fernrohrs fortwährend so korrigirt, dass der Stern am Horizontalfaden bleibt. Dabei hört man auf den Schlag der Uhr, zählt die Schläge im Kopf mit und schätzt auf Zehntel den Zeitpunkt des Durchgangs durch den Mittelfaden (resp. die Mitte des Doppelfadens).

Am genauesten wird die Beobachtung des Polarsterns (welchen man mit dem Universal-Instrument in der Regel auch bei Tage auffinden kann), und zwar zur Zeit der grössten Digression, wo ein Fehler in der Zeit unschädlich wird. Im Uebrigen ist eine geringe Höhe des zu beobachtenden Gestirns wegen der Fehler des Instruments vortheilhaft.

Beobachtet man die Sonne, so stellt man dieselbe ungefähr ein,*) schraubt das dunkle Augenglas vor das Okular (bezw. das Okularprisma mit farbigem Schieber), bringt dann den vorderen (westlichen) Sonnenrand in den richtigen Halbkreis des Gesichtsfeldes und stellt die Vertikalaxe fest. Darauf korrigirt man wieder allein die Höhenlage des Fernrohrs und zählt dabei die Schläge der Uhr.

Das Sonnenbild muss bei der Beobachtung des ersten Randes im Fernrohr erscheinen wie in Fig. 155*a*. Wenn die Zeit für den ersten

Fig. 155.

a *b*

Rand notirt ist, lässt man die Vertikalaxe unberührt und wartet den Durchgang des zweiten Randes ab, welcher im Fernrohr beobachtet wird wie in Fig. 155*b*. Das Mittel der Zeiten ist die Zeit für das Azimut des Sonnenmittelpunkts.**)

Nach Beobachtung des Durchgangs wird der Horizontalkreis abgelesen und eine zweite Beobachtung vorbereitet, indem man das Gestirn wieder

*) Die Einstellung der Sonne wird zuerst im Azimut nach dem Schatten des Höhenkreises, der nur einen dunkeln Strich bilden muss, vorgenommen, dann wird das Fernrohr langsam um seine Axe gedreht, bis der helle Schein der Sonne durch das Okular auf die dahintergehaltene Hand fällt, und schliesslich auf einem Blatt Papier das Sonnenbild des Fernrohrs aufgefangen.

**) Die Reduktion einer einzelnen Randbeobachtung auf den Sonnenmittelpunkt ist $r \sec h$.

in den vorherigen (östlichen) Halbkreis des Gesichtsfeldes zurückbringt. Nach drei bis fünf solcher Beobachtungen visirt man zum Schluss wieder das feste Objekt an, dessen Horizontaleinstellung sich nicht geändert haben darf.

Auch bei diesen Beobachtungen ist es zweckmässig, wenn auch für die Sonne oder ein Gestirn nicht nothwendig, das Fernrohr durchzuschlagen, also mit dem Fernrohr rechts und links zu beobachten.

Für das Mittel der beobachteten Zeiten wird das Azimut des Gestirns berechnet. Diesem Zeitpunkt entspricht auch das Mittel der Ablesungen am Horizontalkreise. Die Differenz dieses Winkelwerthes und der Einstellung für das Objekt ergiebt dann das Azimut dieses letzteren.

Beispiel.

Mit einem einfachen Theodoliten wurden am 30. August 1881 in 52° 30′ 34,23″ N-Br und 13° 22′ 15,97″ O-Lg von Greenwich folgende Sonnenbeobachtungen angestellt: Uhrkorrektion $-4^m\,5^s$ geg. m. Ortszt.

		Chron. Zeit.	⊙ ⊙ Horizontalkreis.	
westl.	⊙Rand =	$9^h\,45^m\,42^s$	110° 55′ 45″	Mire = 192° 27′ 22″
östl.	„	$48^m\,10^s$		
westl.	„	$50^m\,16^s$	112° 13′ 22″	
östl.	„	$52^m\,39{,}5^s$		
westl.	„	$54^m\,56{,}5^s$	113° 31′ 13″	
östl.	„	$57^m\,9{,}0^s$		
westl.	„	$59^m\,24{,}5^s$	114° 51′ 26″	„ 192° 27′ 25″
östl.	„	$10^h\,1^m\,44{,}5^s$		
		$9^h\,53^m\,45{,}25^s$	⏀ 112° 52′ 56,5″	Mire = 192° 27′ 23,5″

$U\,C - \quad 4^m\,5{,}00^s$

$9^h\,49^m\,40{,}25^s$ — m. Ortszt. $= 9^h\,50^m$

Ztgl. $= - \quad 27{,}5^s$ — O-Lg in Zt. $- \quad 52^m$

w. Ortszt. $= 9^h\,49^m\,12{,}7^s$ — m. Gr. Zt. $= 8^h\,58^m$ $\quad b = 37^\circ\,29'\,26'' = (90^\circ - \varphi)$

$t = 2^h\,10^m\,47{,}3^s$ — ⊙ $\delta = +8^\circ\,54'\,48''$ $\quad p = 81^\circ\,5'\,12'' = (90^\circ - \delta)$

$\tfrac{1}{2}\,t = 1^h\,5^m\,23{,}6^s$

$$\operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(A+S) = \frac{\operatorname{cotg} \tfrac{1}{2} t \,.\, \cos \tfrac{1}{2}(p-b)}{\cos \tfrac{1}{2}(p+b)}$$

$$\operatorname{tg} \tfrac{1}{2}(A-S) = \frac{\operatorname{cotg} \tfrac{1}{2} t \,.\, \sin \tfrac{1}{2}(p-b)}{\sin \tfrac{1}{2}(p+b)}$$

$\tfrac{1}{2}\,t = 1^h\,5^m\,23{,}6^s$ — log cotg 0,561496 — log cotg 0,561496

$p = 81^\circ\,5'\,12''$ $\quad \tfrac{1}{2}(p+b) = 59^\circ\,17'\,19''$ log sec 0,291822 — log cosec 0,065627

$b = 37^\circ\,29'\,26''$ $\quad \tfrac{1}{2}(p-b) = 21^\circ\,47'\,53''$ log cos 9,967781 — log sin 9,569767

log tg $\tfrac{1}{2}(A+S)$ 0,821099 — log tg $\tfrac{1}{2}(A-S)$ 0,196890

$\tfrac{1}{2}(A+S) = 81^\circ\,24'\,53''$

$\tfrac{1}{2}(A-S) = 57^\circ\,33'\,52''$

w. Az. = N 138° 58′ 45″ Ost

⏀ 112° 52′ 56,5″

N-Punkt des Kreises 333° 54′ 11,5″

Mire anvisirt 192° 27′ 23,5″

w. Az. der Mire = N 218° 33′ 12,0″ Ost.

Wenn unter Ausnutzung der Vorzüge des astronomischen Universal-Instruments das Azimut auf Sekunden genau gefunden werden soll, so ist Folgendes zu beachten:

1. Die Neigung der Horizontalaxe ist in Rechnung zu ziehen. Dazu bedient man sich der in dem folgenden Paragraphen noch zu erläuternden Formel (Seite 391)

$$\frac{d}{4}\left\{(w+o')+(w'+o)\right\}\frac{\sin h}{\cos\varphi},$$

worin d den Werth eines Niveautheils in Bogen bedeutet. Für einen Cirkumpolarstern kann $\frac{\sin h}{\cos\varphi}=\operatorname{tg}\varphi$ gesetzt werden.

2. An das Mittel der Sternbeobachtungen muss eine Korrektion angebracht werden, wenn man nicht vorzieht, jede Beobachtung einzeln zu berechnen und das Mittel der Resultate zu ziehen.

Die Korrektion erhält man für einen Cirkumpolarstern, wenn n die Anzahl der Beobachtungen, A das dem mittleren Stundenwinkel entsprechende Azimut, $\frac{\Sigma A}{n}$ das mittlere Azimut und τ die Zeitdifferenz jeder Beobachtung gegen das Mittel der Zeiten bezeichnet, aus der Formel:

$$\frac{\Sigma A}{n}=A-\operatorname{tg}A\,\frac{1}{n}\,\Sigma\frac{2\sin^2\frac{1}{2}\tau}{\sin 1''}.$$

Eine Hülfstafel, welche die Werthe $\frac{2\sin^2\frac{1}{2}\tau}{\sin 1''}$ enthält, findet sich in den gebräuchlichen Tafelsammlungen, z. B. Ligowski, Taf. 22.

Die logarithmische Berechnung des Azimuts muss auf sieben (mindestens sechs) Stellen durchgeführt werden. Ueber die Anordnung der Beobachtung etc. giebt das folgende Beispiel Auskunft, welches einer bezüglichen Vorschrift des amerikanischen Coast Survey Manual (Report 1866, App. 11) entnommen ist:

Mit einem 18zölligen Theodoliten von Troughton wurde beobachtet am 5. April 1848 in 29° 26′ 2.6″ N-Br 6h 16m 32,0s West v. Grw.

Objekt	Fernrohr	Niveau 8.2″ = 1 Theilstr. Ost	West	Chronometer (regulirt nach Sternzeit)	Azimutalkreis (Mittel der Ablesungen)
Mire	Links			8h 56m	158° 50′ 56.67″
	Rechts				51′ 13.33″
		12.9	17.1		
		8.1	11.9		
		12.6	7.4		
		8.3	11.7		
Polaris	Links			9h 3m 33.5s	337° 18′ 31.67″
				4m 47.5s	18′ 48.33″
				6m 7.0s	19′ 6.66″
	Rechts			9h 8m 6.5s	337° 19′ 46.66″
				9m 24.0s	20′ 5.00″
				10m 23.5s	20′ 20.00″
		12.2	7.9		
		8.0	12.0		
		12.1	7.8		
		7.75	12.2		
Mire	Links			9h 19m	158° 50′ 56.67″
	Rechts				51′ 11.67″

Mittel der Zeit	$9^h\ 7^m\ 3{,}7^s$	
Korrekt. geg. St.-Z. —	$1{,}8^s$	
Sternzeit	$9^h\ 7^m\ 1{,}9^s$	
Rektascension	$1^h\ 4^m\ 4{,}7^s$	Deklination $= +88° 29' 57{,}77''$
Stundenwinkel	$8^h\ 2^m\ 57{,}2^s = 120° 44' 18''$	

Niveau — 0,24 . 8,2 tg φ = — 1,11

Differenz gegen Mittelzeit	$\frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} r}{\sin 1''}$
$3^m\ 30{,}2^s$	24,1″
$2^m\ 16{,}2^s$	10,1″
$0^m\ 56{,}7^s$	1,8″
$1^m\ 2{,}8^s$	2,2″
$2^m\ 20{,}3^s$	10,7″
$3^m\ 19{,}8^s$	21,8″
$\frac{1}{6}\left[\frac{2 \sin^2 \frac{1}{2} r}{\sin 1''}\right]$	= 11,8″

11,8 tg Az = 0,30″

Mittel der Kreisablesung		337° 19′ 26,39″
Korrektion für Niveau	—	1,11″
Redukt. auf die Mittelzeit	—	0,30″
		337° 19′ 24,98″
Azimut des Polarsterns*)		1° 28′ 12,10″
Nordpunkt des Kreises		338° 47′ 37,08″
Mire		158° 51′ 4,59″
Azimut der Mire	Süd	0° 3′ 27,51″ West

§ 160. Das Universal-Instrument als Durchgangs-Instrument.

Die Einrichtung des kleinen astronomischen Universal-Instruments gestattet, dasselbe auch zu Durchgangsbeobachtungen zu verwenden. Durchgangsbeobachtungen werden in erster Linie angestellt: zur Bestimmung der Zeit im Meridian und zur Bestimmung der Breite im ersten Vertikal. Im Folgenden wird nur auf Meridianbeobachtungen eingegangen werden.

Durchgangsbeobachtungen im Meridian.

Wenn die Kollimationsaxe des Instruments mit der Ebene des Meridians zusammenfällt, so erhält man direkt eine Zeitbestimmung, wenn man den Moment beobachtet, zu welchem ein bekannter Stern diese Vertikalebene — also den Mittelfaden im Fernrohr — passirt. Die in der Ephemeride gegebene Rektascension ist die Sternzeit für diesen Moment. Wenn Breite und Sternzeit ungefähr bekannt sind, so lässt sich die Meridian-Zenithdistanz ($\varphi - \delta$) am Höhenkreise für einen Stern, dessen Kulmination nahe bevorsteht, ohne Weiteres einstellen. Man blickt durch das Fernrohr, beobachtet den Durchgang des Sterns und bemerkt gleichzeitig nach dem Sekundenschlag eines Chronometers die Uhrzeit, deren Korrektion gegen Sternzeit dann der Vergleich mit der Rektascension des beobachteten Sterns unmittelbar giebt.

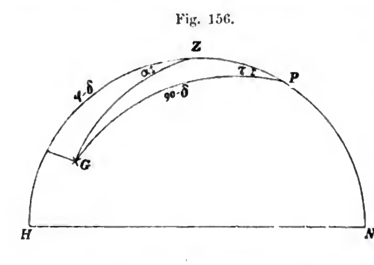
Da ein genaues Zusammenfallen der vertikalen Kollimationsebene mit dem Meridian nicht zu erreichen ist, so ist es nothwendig, die Korrektionen für die Abweichung aus der Meridianebene festzustellen. Diese Abweichungen rühren her von drei Fehlern des Instruments:

*) Berechnet nach der Formel des vorhergehenden Beispiels mit siebenstelligen Logarithmen.

1. dem Fehler in der Einstellung am Horizontalkreis oder dem Azimutfehler a,
2. dem Fehler der horizontalen Umdrehungsaxe i,
3. dem Fehler der Kollimationsaxe c.

ad 1. Nimmt man an, das Fernrohr sei möglichst nahe im Meridian auf einen Punkt der Himmelskugel an der vom Pol abgewandten Seite eingestellt, die Deklination dieses Punktes sei δ (Fig. 156), so ist die Meridian-Zenithdistanz $\varphi - \delta$, die Poldistanz $90 - \delta$. Wegen des Azimutfehlers ist der Vertikalkreis des Instruments um den Winkel a am Zenith gegen den Meridian geneigt, der eingestellte Punkt demgemäss um a aus dem Meridian gerückt, dessen Stundenkreis mit dem Meridian den Winkel am Pol τ einschliesst.

Fig. 156.



Dieser Winkel ist der Zeitfehler, welchen der Azimutfehler verursacht. Wenn a klein ist, kann man die Aenderung der Zenith- und Poldistanz ausser Acht lassen und setzen

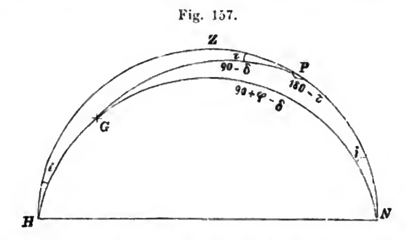
$$\sin a \sin(\varphi - \delta) = \sin \tau \sin(90^\circ - \delta),$$

woraus

$$\tau = \frac{a \sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta}.$$

ad 2. Wenn die Horizontalaxe des Instruments um i geneigt ist, so bewegt sich das Fernrohr nicht mehr in einer Vertikalebene, sondern in

Fig. 157.



einem um i gegen die vertikale Meridianebene geneigten Kreise (Fig. 157), welcher den Meridian im Horizont schneidet.

Aus dem sphärischen Dreieck zwischen dem anvisirten Punkt G, dem Pol und dem Horizontpunkt zunächst dem Meridian N findet man

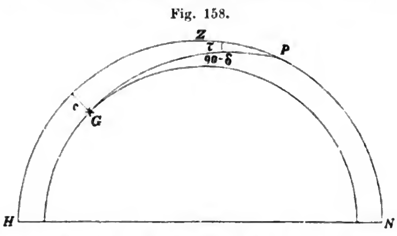
$$\frac{\sin 180^\circ - \tau}{\sin 90^\circ + (\varphi - \delta)} = \frac{\sin i}{\sin 90^\circ - \delta},$$

woraus

$$\tau = \frac{i \cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta}.$$

ad 3. Der Kollimationsfehler c hat zur Folge, dass sich die Kollimationslinie in einem Parallelkreise zum Meridian im Abstande c (Fig. 158)

Fig. 158.



bewegt. Betrachtet man den Abstand c des anvisirten Punktes G vom Meridian als dritte Seite des sphärischen Dreiecks zwischen dem Pol, dem Punkt G und dem Meridian, in welchem die Poldistanz von G als $90^\circ - \delta$ gesetzt werden darf, so erhält man den Zeitfehler τ aus

$$\sin \tau = \frac{\sin c}{\sin 90^\circ - \delta},$$

woraus

$$\tau = c \sec \delta.$$

Die am Instrument beobachtete Durchgangszeit des Gestirns durch den Mittelfaden ist also wegen der Fehler der Instrumentenstellung mit folgender Korrektion zu versehen, um die Kulminationszeit zu erhalten.

$$\frac{\alpha \sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + \frac{i \cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + \frac{c}{\cos \delta}.$$

Dies ist die von Tobias Mayer angegebene Formel zur Berechnung der Meridianbeobachtungen am Durchgangs-Instrument.

§ 161. Anstellung von Durchgangsbeobachtungen.

1. Bestimmung der Fadenabstände.

Im Gesichtsfelde des Fernrohrs befinden sich mehrere Vertikalfäden, an welchen man die Durchgänge des Gestirns nach einander beobachtet. Man hat dann nur die Abstände der Fäden von der Mitte des Gesichtsfeldes als Kollimationsfehler anzusehen und die Beobachtungen für diese Fehler zu korrigiren, so erhält man die einzelnen Bestimmungen für die Kollimationsaxe des Fernrohrs und betrachtet sie alle als gleichwerthig. Normal zu den Vertikalfäden ist ein Doppelfaden gespannt, an welchem

die Berührungen beobachtet werden müssen. Die horizontale Lage dieses Doppelfadens wird geprüft und durch Drehung des Okularrohrs korrigirt, indem man einen Stern mit schneller Bewegung (geringer Deklination) durch das Gesichtsfeld gehen lässt und dabei zwischen den Doppelfäden hält. Dabei muss aber das Fernrohr sehr nahe im Meridian stehen.

Der Durchgang des Sterns durch jeden Vertikalfaden wird auf Zehntel-Zeitsekunden notirt und bei der Beobachtung wie folgt verfahren.

Die ungefähre Korrektion des Beobachtungschronometers gegen Sternzeit ist vorher festgestellt. In der Ephemeride sucht man den Stern auf, dessen Rektascension mit der demnächst eintretenden Sternzeit übereinstimmt, und stellt die Zenithdistanz dieses Sterns ($\varphi - \delta$) am Höhenkreise ein. Ist die Zenithdistanz klein, so schraubt man ein Okularprisma vor das Okular. Wenn man nun durch das Fernrohr sehend den Stern in das Gesichtsfeld eintreten sieht, liest man die Sekunde am Chronometer ab und zählt die Schläge desselben von nun an im Kopfe mit, während man durch das Fernrohr sieht. Tritt der Stern an einen Faden heran, so prägt man sich die Stellung desselben beim letzten halben Sekundenschlag vor dem Durchgang ein und vergleicht dieselbe mit der Stellung bei dem folgenden halben Sekundenschlag, also nach dem Durchgang. Durch diesen Vergleich lässt sich nach einiger Uebung der Zeitpunkt des Durchgangs mit grosser Genauigkeit schätzen. Diese Durchgangszeit notirt man — während man nach dem Gehör immer fortzählt — und beobachtet nun den Durchgang am folgenden Faden in gleicher Weise, notirt die Zeit wieder und so fort, bis der Stern alle Fäden passirt hat. Erst dann vergleicht man die im Kopf gezählten Schläge wieder mit dem Chronometer, liest die Minute ab und vervollständigt, danach zurückrechnend, die notirten Zeiten der Durchgänge.

Vor und nach einer solchen Beobachtungsreihe wird das Aufsatzniveau in beiden Lagen abgelesen und notirt.

Um die einzelnen Beobachtungen auf die Mitte des Gesichtsfeldes zu reduciren, müssen die Fadendistanzen (dieselben verstehen sich immer von der Mitte des Gesichtsfeldes)*) bestimmt werden. Die Fäden werden immer in bestimmter Reihenfolge mit römischen Ziffern benannt, so dass I den Faden der ersten Berührung eines Sterns in seiner oberen Kulmination bei Kreis (oder Fernrohr) West bedeutet. Bei Kreis (oder Fernrohr) Ost tritt dann derselbe Stern in der oberen Kulmination an den Faden I zuletzt.

Wenn in der Formel für den Kollimationsfehler statt c die Fadendistanz f eingesetzt wird, so hat man $\sin t = \sin f \sec \delta$.

Für Sterne, welche weiter als 5° vom Pol entfernt sind, reicht es hin, zu setzen $t = f \sec \delta$ und $f = t \cos \delta$.

---

*) Als Mitte des Gesichtsfeldes gilt das Mittel der an den einzelnen Fäden beobachteten Durchgangszeiten, wie in dem nachstehenden Beispiel, oder auch die Durchgangszeit am Mittelfaden.

Um die Fadendistanzen zu bestimmen, beobachtet man Sterne von sehr langsamer Bewegung (70° Deklination und darüber) an allen Fäden.

Hätte man alle Durchgänge eines Sterns mit gleicher Genauigkeit beobachtet, so genügte es, das Mittel zu nehmen. Die Reduktion der einzelnen Beobachtungen auf die Mitte bietet aber eine gute Kontrole und lässt namentlich das gelegentliche Ausfallen eines Fadens zu.

Zu bemerken ist, dass bei der Bestimmung der Fadendistanz eine unveränderliche Lage der Horizontalaxe Bedingung ist. Wenn daher die Aufstellung nicht sehr fest ist, so ist der Polarstern für diese Beobachtung wegen der allzulangen Beobachtungsdauer nicht so zu empfehlen, wie Sterne von 60—70° Deklination.

Für Gestirne mit eigener Bewegung muss auf die Fadendistanz noch eine Korrektion wegen der Aenderung der Rektascension angewendet werden. Dieselbe wird hier übergangen, da in der Regel nur Fixsterne für diese Art der Beobachtung benutzt werden und sich in den Korrektionstafeln, welche man für Mond- und Sonnendurchgänge benutzt, die nöthigen Erläuterungen finden.

Folgendes Beispiel zeigt die Bestimmung der Fadendistanzen.

Zur Bestimmung der Fadendistanzen wurde der Durchgang des Polarsterns in einem im Meridian aufgestellten kleinen Passage-Instrument am 28. Januar 1881 wie folgt beobachtet.

Das Beobachtungschronometer war nach mittlerer Zeit regulirt.

Durchgang an Faden I.	$4^h\ 45^m\ 43^s$	
II.	$5^h\ 3^m\ 48^s$	
III.	$5^h\ 12^m\ 36^s$	
IV.	$5^h\ 22^m\ 21^s$	
V.	$5^h\ 32^m\ 16^s$	
VI.	$5^h\ 41^m\ 25^s$	
VII.	$6^h\ 0^m\ 12^s$	δ Polaris
Mittel der Zeiten	$5^h\ 22^m\ 37^s$	$88°\ 40'\ 36''$
		$\log\cos\delta = 8{,}36351$

Faden	Reduktion auf das Mittel (t)	$\log\sin t$	$\log\sin t\cos\delta = \log\sin F$	F.
I.	$+\ 36^m\ 54^s$	9,20497	7,56848	$50{,}91^s$
II.	$+\ 18^m\ 49^s$	8,91387	7,27738	$26{,}06^s$
III.	$+\ 10^m\ 1^s$	8,64040	7,00391	$13{,}88^s$
IV.	$+\ 0^m\ 16^s$	7,06579	5,42930	$0{,}37^s$
V.	$-\ 10^m\ 39^s$	8,66701	7,03052	$14{,}75^s$
VI.	$-\ 18^m\ 48^s$	8,91349	7,27700	$26{,}04^s$
VII.	$-\ 37^m\ 35^s$	9,21286	7,57637	$51{,}91^s$

Eine Vereinfachung dieser Rechnung gewährt die folgende kleine Hülfstabelle (nach Chauvenet, Practical Astronomy).

Man kann setzen:

$$\sin t \cos\delta = F \sin 15''$$

oder

$$t \cos\delta \frac{\sin t}{t \sin 15''} = F$$

t	$\log \frac{\sin t}{t \sin 15''}$	t	$\log \frac{\sin t}{t \sin 15''}$	t	$\log \frac{\sin t}{t \sin 15''}$	t	$\log \frac{\sin t}{t \sin 15''}$
1^m	10,00000—10	11^m	9,99983—10	21^m	9,99939—10	31^m	9,99867—10
2^m	9,99999	12^m	9,99980	22^m	9,99933	32^m	9,99859
3^m	9,99999	13^m	9,99977	23^m	9,99927	33^m	9,99849
4^m	9,99998	14^m	9,99973	24^m	9,99920	34^m	9,99840
5^m	9,99997	15^m	9,99969	25^m	9,99914	35^m	9,99831
6^m	9,99995	16^m	9,99965	26^m	9,99907	36^m	9,99821
7^m	9,99993	17^m	9,99960	27^m	9,99899	37^m	9,99811
8^m	9,99991	18^m	9,99955	28^m	9,99892	38^m	9,99801
9^m	9,99989	19^m	9,99950	29^m	9,99884	39^m	9,99790
10^m	9,99986	20^m	9,99945	30^m	9,99876	40^m	9,99779

z. B. Faden III. $t = + 10^m 1^s$ $\log t$ 2,77887
$\log \cos \delta$ 8,36351
(Argt. 10^m) Tafel 9,99986
$\log F$ 1,14224 $F = 13{,}88^s$

Die Fadendistanz kann auch durch direkte Winkelmessung einfach dadurch bestimmt werden, dass man ein in gleicher Höhe mit dem Instrument befindliches Objekt successive an allen Fäden einstellt und den Bogen auf dem Horizontalkreise abliest. Um ähnliche Genauigkeit wie mit der vorhergehenden Methode zu erhalten, sind günstige Umstände und wiederholte Beobachtungsreihen erforderlich. Da aber die Beobachtung zu jeder Zeit ausgeführt werden kann, so hat diese Methode für das Universal-Instrument besonderen Werth.

Beispiel.

Bestimmung der Fadenabstände eines Lingke'schen Universal-Instruments (Kreisdurchmesser 135 mm) durch Einstellung eines im Horizont des Instruments liegenden Objekts an den einzelnen Fäden.
Faden III. und IV. ist ein Doppelfaden.

Faden I.	Faden II.	Faden III.	Mittel der Einstellungen (Mitte des Gesichtsfeldes)	Faden IV.	Faden V.	Faden VI.
84° 17′ 53,5″	22′ 40,5″	27′ 48,0″	28′ 14,5″	28′ 45,0″	33′ 48,0″	84° 38′ 32,0″
84° 17′ 52,0″	22′ 44,5″	27′ 50,5″	28′ 16,1″	28′ 46,5″	33′ 43,0″	84° 38′ 40,0″
203° 11′ 33,0″	16′ 16,5″	21′ 26,5″	21′ 54,75″	22′ 27,5″	27′ 25,0″	203° 32′ 20,0″
203° 11′ 38,0″	16′ 29,5″	21′ 31,0″	21′ 57,83″	22′ 25,5″	27′ 26,0″	203° 32′ 18,0″
270° 0′ 50,0″	5′ 42,0″	10′ 50,5″	11′ 16,66″	11′ 45,0″	16′ 50,0″	279° 21′ 41,5″
270° 0′ 53,5″	5′ 49,0″	10′ 52,5″	11′ 18,00″	11′ 47,1″	16′ 44,5″	279° 21′ 41,5″
Fadenabstände.						
10′ 21,0″	5′ 34,0″	0′ 26,5″		0′ 31,5″	5′ 33,5″	10′ 17,5″
10′ 24,1″	5′ 31,6″	0′ 25,6″		0′ 30,4″	5′ 26,9″	10′ 23,9″
10′ 21,75″	5′ 38,25″	0′ 27,95″		0′ 32,75″	5′ 30,25″	10′ 25,25″
10′ 19,83″	5′ 28,33″	0′ 26,83″		0′ 27,67″	5′ 28,17″	10′ 20,17″
10′ 26,66″	5′ 34,66″	0′ 26,16″		0′ 28,34″	5′ 33,34″	10′ 24,84″
10′ 24,5″	5′ 29,0″	0′ 25,5″		0′ 29,1″	5′ 26,5″	10′ 23,5″
10′ 22,96″	5′ 32,64″	0′ 26,42″		0′ 29,93″	5′ 29,78″	10′ 22,53′
Fadenabstände in Zeit.						
$41{,}53^s$	$22{,}18^s$	$1{,}76^s$		$2{,}00^s$	$21{,}99^s$	$41{,}50^s$

2. Bestimmung der Neigung.

Für die Bestimmung der Neigung ist folgende Regel allgemein gültig: *)

$$i = \tfrac{1}{2}\,\frac{(W + O') + (W' + O)}{2}$$

wenn bezeichnet

1. für Niveau mit dem Nullpunkt in der Mitte.

I. Lage	Ablesung am	West-Ende	+ W
	" "	Ost-Ende	— O
II. Lage	" "	West-Ende	+ W'
	" "	Ost-Ende	— O'

Für Niveau mit Nullpunkt am Ende.

1. Nullpunkt im Osten	West-Ende	+ W
	Ost-Ende	+ O
2. Nullpunkt im Westen	West-Ende	— W'
	Ost-Ende	— O'

Der positive Werth von i entspricht einer höheren Lage des westlichen Endes der Horizontalaxe.

Die durch Multiplikation mit dem Bogenwerth eines Skalentheils erhaltene Neigung ist zur Korrektion der Durchgangszeit in Zeitmass zu verwandeln (Division durch 15). Es ist in Zeitmass

$$i = \tfrac{1}{60}\,[(W + O') + (W' + O)].$$

3. Bestimmung des Kollimationsfehlers durch Beobachtung eines Cirkumpolarsterns.

Sind die Fadendistanzen bekannt, so lässt sich der Kollimationsfehler des Instruments dadurch finden, dass man denselben Stern hintereinander in zwei Lagen beobachtet. Wenn man einen nahe am Pol stehenden Stern an den ersten Fäden beobachtet, so bleibt Zeit genug, das Instrument in seinen Lagern umzulegen, um dann diesen Stern an denselben Fäden in umgekehrter Folge durchgehen zu sehen. Beide Beobachtungen auf das Mittel reducirt — unter Berücksichtigung der Niveauablesung — weichen dann nur infolge des Kollimationsfehlers ab, welcher aus der halben Differenz nach der Formel

$$c = \frac{t_1 - t_2}{2}\cos\delta$$

hergeleitet werden kann.

Beispiel.

Am 27. Januar 1880 wurde in 53° 31′ 52″ N-Br mit demselben Instrument wie oben zur Bestimmung der Kollimation beobachtet:

Durchgang des Polarsterns.

Kreis West Faden	II.	$5^h\ 7^m\ 21{,}3^s$	Niveauablesung	5,8 W	42,2 O'	= + 0,43.
	III.	$5^h\ 16^m\ 9{,}4^s$	umgesetzt	43,0 W'	6,7 O	
Kreis Ost Faden	III.	$5^h\ 35^m\ 14{,}5^s$	Niveauablesung	6,2 W	42,6 O'	= + 0,03.
	II.	$5^h\ 44^m\ 2{,}7^s$	umgesetzt	44,3 W'	7,8 O	

Ein Niveautheil war ermittelt zu $0{,}175^s$.

*) Albrecht, Formeln und Hülfstafeln für geographische Ortsbestimmung.

Zunächst ist der Einfluss der Neigung auf die Durchgangszeit zu bestimmen nach der Formel:

$$\frac{i \cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} = J$$

Für Kreis West ist

$+ i = 0{,}43 \,.\, 0{,}175 = 0{,}075^s$

$\varphi - \delta = -35° \, 8' \, 44''$ log cos 9,91259

log cos δ 8,36351

log 1,54908

$J = 35{,}4 \,.\, 0{,}075 = 2{,}66^s$

Für Kreis Ost ist

$+ i = 0{,}83 \,.\, 0{,}175 = 0{,}145^s$

$$\frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} = 35{,}4$$

$J = 35{,}4 \,.\, 0{,}145 = 5{,}13^s$.

Reduktion auf die Mitte.

II.	III.	III.	II.
$5^h \; 7^m \; 21{,}3^s$	$5^h \; 16^m \; 9{,}4^s$	$5^h \; 35^m \; 14{,}5^s$	$5^h \; 44^m \; 2{,}7^s$
$+ \; 18^m \; 49{,}23^s$	$+ \; 10^m \; 1{,}17^s$	$- \; 10^m \; 1{,}17^s$	$- \; 18^m \; 49{,}23^s$
$+ \; 2{,}66^s$	$+ \; 2{,}66^s$	$+ \; 5{,}13^s$	$+ \; 5{,}13^s$
$5^h \; 26^m \; 13{,}19^s$	$5^h \; 26^m \; 13{,}23^s$	$5^h \; 25^m \; 18{,}46^s$	$5^h \; 25^m \; 18{,}60^s$

t_1 $5^h \; 26^m \; 13{,}21^s$ West

t_2 $5^h \; 25^m \; 18{,}53^s$ Ost

Unterschied ($2\, c \sec \delta$) $= 54{,}68^s$

log $2\, c \sec \delta = 1{,}7378$

colog $2 = 9{,}6999 - 10$

log cos $\delta = 8{,}3335 - 10$

log $c = 0{,}8012$

$c = 0{,}633^s$

Für Kreis West negativ.

Für Kreis Ost positiv.

4. Aufstellung des Instruments im Meridian. Bestimmung des Azimutfehlers.

Nach der Vorschrift für die Bestimmung des Azimuts wird der Meridianpunkt des Horizontalkreises angenähert gefunden. Sodann berechnet man so genau wie möglich den Zeitpunkt des Meridiandurchganges für einen Stern von langsamer Bewegung (einen Cirkumpolarstern).

Kurz vor Eintreten dieses berechneten Zeitpunkts richtet man das Fernrohr des nahe in den Meridian gestellten Instruments, stellt den Stern zwischen den Vertikaldoppelfaden ein und verfolgt seine Bewegung, indem man die Mikrometerschraube des Horizontalkreises fortwährend bewegt, so lange, bis der am Chronometer aufgestellte Beobachter die Meridianzeit des Sterns avertirt.

In dieser Stellung bleibt der Alhidadenkreis unverrückt stehen.

Ein Zeichen wird Nord und Süd vom Instrument mindestens 50 m weit aufgerichtet, an welchem Nachts ein Licht den genauen Punkt zur Prüfung der Instrumentenstellung fixiren kann.

Der übrigbleibende Azimutfehler wird bei der Beobachtung selbst bestimmt.

Das Verfahren dazu ergiebt sich aus folgender Betrachtung:

Der durch den Azimutfehler a hervorgerufene Zeitfehler ist nach Seite 386

$$\tau = a \frac{\sin(\varphi - d)}{\cos \delta}.$$

Die Rektascension R ist gleich der berichtigten Kulminationszeit. *) Bezeichnet K den Ausdruck $\frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta}$, so hat man für zwei Sterne verschiedener Deklination:

$$R = t + a K$$
$$R' = t' + a K'$$

woraus folgt:

$$a = \frac{(R' - t') - (R - t)}{K' - K}.$$

Es ist

$$K - K' = \frac{\cos \varphi \sin(\delta' - \delta)}{\cos \delta \,.\, \cos \delta'}.$$

Die Bestimmung von a wird also am günstigsten, wenn $\delta_1 - \delta$ nahe 90° ist. Am besten wird a durch Kombination eines dem Pol und eines dem Aequator nahestehenden Sterns bestimmt. Der Fehler im Azimut — der bei tragbaren Instrumenten naturgemäss unsicherste — ist auch ohne Cirkumpolarstern zu bestimmen, dieses Verfahren also überall anwendbar.

Ueber das Vorzeichen von a gilt Folgendes:

Der dem Zenith nähere Stern geht zuerst durch das Fernrohr, wenn die Rektascension desselben die kleinere ist. Entsprechen, wie üblich, die Bezeichnungen δ' K' R' t' dem Sterne, welcher dem Pol näher steht, δ R K t dem entfernteren, so ist ein positives a östlich, ein negatives westlich zu verstehen (für die nördliche Halbkugel).

Beispiel.

Am 30. Januar 1880 war nach dem Nautical Almanac

AR γ Ceti =	$2^h\,37^m\;\;6{,}35^s$	AR 47 H Cephei =	$2^h\,50^m\,15{,}17^s$
O-Lg =	$-\,32^m\,35{,}20^s$	O-Lg =	$-\,32^m\,35{,}20^s$
St. Zt. in Grw. =	$2^h\;\;4^m\,31{,}15^s$	St. Zt. in Grw. =	$2^h\,17^m\,39{,}97^s$
St. Zt. in m. Mttg. in Grw. =	$20^h\,36^m\,26{,}72^s$	St. Zt. in m. Mttg. in Grw. =	$20^h\,36^m\,26{,}72^s$
m. Zt. in St. Zt. in Grw. =	$5^h\,28^m\;\;4{,}43^s$	m. Zt. in St. Zt. in Grw. =	$5^h\,41^m\,13{,}25^s$
m. Grw. Zt. =	$5^h\,27^m\,10{,}68^s$	m. Grw. Zt. =	$5^h\,40^m\,17{,}35^s$
O-Lg =	$+\,32^m\,35{,}20^s$	O-Lg =	$+\,32^m\,35{,}20^s$
Merid. Durchg. in Ort. Zt. =	$5^h\,59^m\,45{,}88^s$	Merid. Durchg. in Ort. Zt. =	$6^h\,12^m\,52{,}55^s$
Beobacht. Durchg. =	$6^h\,38^m\;\;8{,}66^s$	Beobacht. Durchg. =	$6^h\,51^m\,16{,}04^s$
$R - t$ =	$-\,38^m\,22{,}78^s$	$R' - t'$ =	$-\,38^m\,23{,}49^s$

$$(R' - t') - (R - t) = -0{,}71^s$$

*) Ist die Zeit in mittlerer Zeit gegeben, so ist die Rektascension als Sternzeit in mittlere Zeit zu verwandeln.

$$\varphi = +53^\circ\,31'\,52'' \qquad\qquad \varphi = +53^\circ\,31'\,52''$$
$$\delta = +\ 2^\circ\,43'\,48'' \quad \log\sec 0{,}00049 \qquad \delta' = +78^\circ\,56'\,56'' \quad \log\sec 0{,}71742$$
$$\varphi - \delta = +50^\circ\,48'\ \ 4'' \quad \log\sin 9{,}88928 \qquad \varphi - \delta' = -25^\circ\,25'\ \ 4'' \quad \log\sin 9{,}63268_n$$
$$k = +0{,}776 \quad \log k\ 9{,}88977 \qquad k' = -2{,}239 \quad \log k'\ -0{,}35010$$
$$k' - k = -3{,}015$$
$$\alpha = \frac{(R'-t') - (R-t)}{k'-k} = \frac{-0{,}71}{-3{,}02} = +0{,}23$$

Zum Schluss folgt hier das Beispiel einer vollständigen Zeitbestimmung.

Universal-Instrument im Meridian.

den 1. Juli 1874 in 53° 32′ N-Br $0^h\,32^m\,35^s$ O v. Gr.

Kreislage	Ost	Ost	Ost	West	West	West
Stern	ε Herk.	κ Ophi.	ε Urs. Min.		β Drak.	γ Drak.
	δ + 31° 50′	+ 9° 34′	+ 82° 14,5′		+ 52° 24′	+ 51° 30′
AR	$16^h 36^m 34{,}47^s$	$16^h 51^m 44{,}42^s$	$16^h 58^m 65{,}21^s$		$17^h 27^m 37{,}88^s$	$17^h 53^m 43{,}45^s$
Niveau	9,5 W 34,4 O	8,5 W 33,4 O			8,9 W	34,0 O
	40,2 15,0	40,0 14,8			39,7	14,5
Fd. I.	$9^h 23^m 48{,}2^s$	$9^h 39^m\ 3{,}5^s$			$10^h 17^m\ 5{,}2^s$	—
II.	$24^m 18{,}0^s$	$39^m 29{,}5^s$	$9^h 44^m 11{,}9^s$	— $9^h 50^m 20{,}8^s$	$16^m 23{,}2^s$	$10^h 42^m 24{,}6^s$
III.	$24^m 48{,}0^s$	$39^m 55{,}5^s$			$15^m 41{,}5^s$	$41^m 43{,}3^s$
IV.	$25^m 18{,}3^s$	$40^m 21{,}5^s$			$14^m 59{,}3^s$	$41^m\ 1{,}9^s$
V.	$25^m 47{,}8^s$	$40^m 47{,}0^s$			$14^m 18{,}2^s$	$40^m 21{,}4^s$
Redukt.[1]	$9^h 24^m 48{,}39^s$	$9^h 39^m 55{,}36^s$			$10^h 15^m 41{,}38^s$	—
	$48{,}07^s$	$55{,}41^s$	$9^h 47^m 21{,}17^s$	— $9^h 47^m 11{,}53^s$	$41{,}32^s$	$10^h 41^m 43{,}56^s$
	$48{,}00^s$	$55{,}50^s$			$41{,}50^s$	$43{,}30^s$
	$47{,}86^s$	$55{,}28^s$			$41{,}68^s$	$43{,}44^s$
	$47{,}90^s$	$55{,}38^s$			$41{,}61^s$	$43{,}15^s$
	$9^h 24^m 48{,}04^s$	$9^h 39^m 55{,}59^s$	$9^h 47^m 21{,}17^s$	$9^h 47^m 11{,}53^s$	$10^h 15^m 41{,}50^s$	$10^h 41^m 43{,}36^s$
Ji[2]	+ 0,57ˢ	+ 0,39ˢ	+ 3,44ˢ	+ 3,18ˢ	+ 0,80ˢ	+ 0,78ˢ
Cc[3]	− 0,79ˢ	− 0,68ˢ	$9^h 47^m 24{,}61^s$	$9^h 47^m 14{,}61^s$	+ 1,10ˢ	+ 1,07ˢ
t	$9^h 24^m 47{,}82^s$	$9^h 39^m 55{,}30^s$	$9^h 47^m 19{,}61^s$		$10^h 15^m 43{,}40^s$	$10^h 41^m 45{,}21^s$
R[4]	$9^h 57^m 32{,}94^s$	$10^h 12^m 40{,}40^s$	$10^h 19^m 59{,}99^s$		$10^h 48^m 27{,}99^s$	$11^h 14^m 29{,}28^s$
$R - t$	$+32^m 45{,}12^s$	$+32^m 45{,}10^s$	$+32^m 40{,}38^s$		$+32^m 44{,}59^s$	$+32^m 44{,}07^s$
αK[5]	+ 0,49ˢ	+ 0,80ˢ	− 3,99ˢ		+ 0,03ˢ	+ 0,07ˢ
$R-(t+\alpha K)$	$32^m 44{,}63^s$	$+32^m 44{,}30^s$	$+32^m 44{,}37^s$		$+32^m 44{,}56^s$	$+32^m 44{,}00^s$

Mittel: Uhrkorrektion geg. m. Gr. Zt. 10^h Nm. $= +32^m\,44{,}37^s$.

Nebenrechnungen.

1. Reduktion auf den Mittelfaden.

Fadendistanzen (fs).

	I. $51{,}14^s$	II. $25{,}55^s$	IV. $25{,}86^s$	V. $50{,}89^s$
		$(fs)\sec\delta$.		
ε Herk.	$60{,}19^s$	$30{,}07^s$	$30{,}44^s$	$59{,}90^s$
κ Ophi.	$51{,}86^s$	$25{,}91^s$	$26{,}22^s$	$51{,}62^s$
ε Urs. Min.		$3^m\,9{,}27^s$		
β Drak.	$83{,}82^s$	$41{,}88^s$	$42{,}38^s$	$83{,}41^s$
γ Drak.	$82{,}15^s$	$41{,}04^s$	$41{,}54^s$	$81{,}75^s$

2. Korrektion für Neigung.

Kreislage Ost $\frac{1}{2}\left(\frac{(40{,}2-34{,}4)+(15{,}0-9{,}5)}{2}\right)=+2{,}82$

$\frac{1}{2}\left(\frac{(40{,}0-33{,}4)+(14{,}8-8{,}5)}{2}\right)=+3{,}22$

Werth eines Niveautheils $=2{,}62''=0{,}175^s$ Mittel $=+3{,}02$

$i=+3{,}02\,.\,0{,}175=+0{,}53$

Kreislage West $\frac{1}{2}\left(\frac{(39{,}7-34{,}0)+(14{,}5-8{,}9)}{2}\right)=+2{,}82$

$i=+0{,}282\,.\,0{,}175=+0{,}49$

	$J\frac{\cos(\varphi-\delta)}{\cos\delta}$	i	Ji
ε Herk.	1,08 .	+ 0,53	= + 0,57
ϰ Ophi.	0,73 .	+ 0,53	= + 0,39
ε Urs. Min.	6,495 .	+ 0,53	= + 3,44
		+ 0,49	= + 3,18
β Drak.	1,64 .	+ 0,49	= + 0,80
γ Drak.	1,60 .	+ 0,49	= + 0,78

3. Korrektion für Kollimation.

ε Urs. Min. Ost $9^h\,47^m\,24{,}61^s$

West $9^h\,47^m\,14{,}61^s$

$2\,c\sec\delta$ $10{,}00^s$ $\log 2\,c\sec\delta=1{,}000$

$\log\cos\delta=9{,}130$

$\mathrm{colog}\,2=9{,}699$

$\log c=9{,}829$

$c=0{,}67$

	ε Herk.	ϰ Ophi.	β Drak.	γ Drak.
$C=\sec\delta$	1,18	1,01	1,64	1,61
c	0,67	0,67	0,67	0,67
Cc	— 0,79	— 0,68	+ 1,10	+ 1,07

4. Rektascension des Sterns verwandelt in mittl. Zt. (vergl. Beispiel S. 393).

5. Korrektion für Azimut.

	ε Herk.	ϰ Ophi.	β Drak.	γ Drak.
$(R'-t')$	32′ 40,38″	32′ 40,38″	32′ 40,38″	32′ 40,38″
$(R-t)$	32′ 45,12″	32′ 45,10″	32′ 44,59″	32′ 44,07″
Diff.	— 4,74″	— 4,72″	— 4,21″	— 3,69″
$K'=$	— 3,56″	— 3,56″	— 3,56″	— 3,56″
$K=$	+ 0,44″	+ 0,71″	+ 0,03″	+ 0,06″
$(K'-K)$	— 4,00″	— 4,27″	— 3,59″	— 3,62″

Mittel $\frac{(R'-t')-(R-t)}{(K'-K)}=\alpha=\frac{-4{,}34}{-3{,}87}=+1{,}12$

	ε Herk.	ϰ Ophi.	ε Urs. Min.	β Drak.	γ Drak.
$\alpha K=$	+ 0,49	+ 0,80	— 3,99	+ 0.03	+ 0.07

Diese Rechnung wird wesentlich vereinfacht, wenn man dabei Hülfstafeln benutzt, aus denen man die Werthe

$$\frac{\cos(\varphi-\delta)}{\cos\delta},\ \sec\delta,\ \frac{\sin(\varphi\mp\delta)}{\cos\delta}$$

entnehmen kann.

Auch für die sonstige Reduktion der mit Azimut- und Höhen-Instrumenten angestellten Beobachtungen sind Hülfstafeln erwünscht. Einer Ausrüstung mit solchen Instrumenten wird daher zweckmässig ein solches Specialwerk hinzugefügt werden, als welches z. B. die „Formeln und Hülfstafeln für geographische Ortsbestimmung etc.“ von Th. Albrecht (Leipzig, Engelmann) genannt werden kann.*)

Bei längerem Verweilen an einer Station wird dann die Rechnung noch mehr abgekürzt, wenn man für die täglich benutzten Sterne ausführliche Hülfstabellen aus diesen Tafeln herstellt.

Nachtrag zum III. Abschnitt:
Apparate und Instrumente für oceanische Beobachtungen.

Der Schiffsgeschwindigkeitsmesser**) („Fahrtmesser“) von Strangmeyer.

Dieser „Fahrtmesser“ zeigt die Geschwindigkeit des Schiffes relativ zum Wasser, welche in der Regel mit dem Log gemessen wird, permanent an.

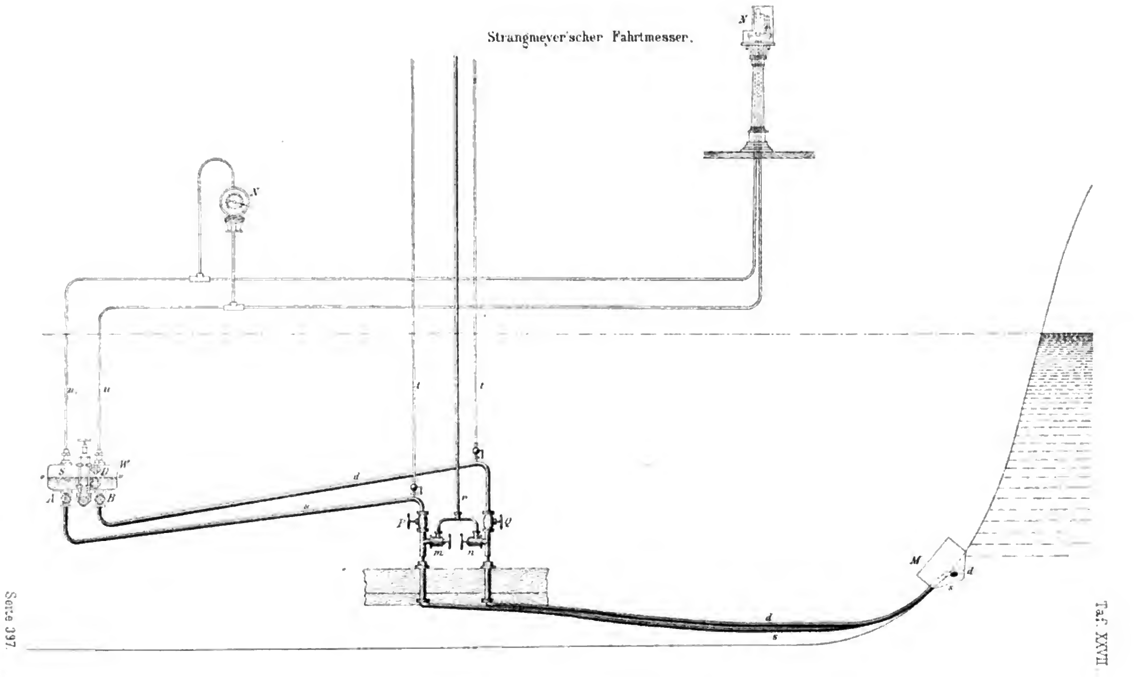
Der Apparat besteht in seinen Haupttheilen aus

1. dem vorne am Schiff unter Wasser angebrachten Mundstücke *M* (Taf. XXVII, XXVIII, XXIX),
2. dem im Schiff unter dem Wasserspiegel aufgestellten Doppelwindkessel *W* und
3. dem auf der Kommandobrücke und im Maschinenraume angebrachten Manometer *N*.

Das Mundstück *M* enthält zweierlei Rohrmündungen, *d* und *s*, nämlich solche, die nach vorne, und solche, die nach hinten gerichtet sind. Erstere sind durch eine Druckrohrleitung *d* mit der Kammer *D*, letztere durch eine zweite gesonderte Saugerohrleitung *s* mit der Kammer *S* des Windkessels verbunden.

*) Ebenso sind in Stelle des „Naut. Jahrbuchs“ ausführlichere Ephemeriden (Nautical Almanac oder Connaissance des temps) erwünscht.

**) Die ersten Versuche mit diesem „Fahrtmesser“ wurden bereits in den Jahren 1880 bis 1882 auf der Kaiserlichen Werft zu Wilhelmshaven angestellt. Der Apparat wurde alsdann im Jahre 1883 auf dem Schlepp- und Pumpendampfer „Norder“ eingebaut und auf Grund der hierbei gewonnenen günstigen Resultate in einzelnen Einrichtungen noch weiter vervollkommnet. Gegenwärtig ist derselbe in der deutschen Kriegsmarine vielfach mit gutem Erfolge zur Ausführung gekommen.


Strangmeyer'scher Fahrtmesser.
N
V
u,
u
t
t
r
d
s
S
D
W
A
B
P
Q
m
n
M
d
s

Der Doppelwindkessel *W* ist mit Wasserstandsgläsern, Ablasshähnen und Verbindungsröhren für Luft und Wasser versehen, welche die Einstellung des Wasserniveaus auf gleiche Höhe in beiden Kammern ermöglichen.

Liegt das Schiff relativ zum Wasser still und steht der Wasserstand in den beiden Kammern *D* und *S* des Windkessels auf gleicher Höhe, so herrscht in beiden Räumen der gleiche, dem hydrostatischen Drucke des Wassers aussenbords entsprechende Druck.

Bewegt sich aber das Schiff vorwärts, so entsteht durch die Wirkung des Wasserstromes auf die Mündungen *d* und *s* in der Kammer *D* ein erhöhter und in *S* ein relativ zu *D* verminderter Druck.

Die Differenz beider Drucke, welche also lediglich von der Fahrt des Schiffes abhängt, wird durch das Manometer *N* angezeigt, welches vermittelst zweier gesonderter Luftleitungen auf der einen Seite der Plattenfeder *F* mit dem Druckraume *D* des Windkessels und auf der anderen Seite mit dem Saugeraume *S* in Verbindung steht.

Demnach zeigt das Manometer, unbeeinflusst durch Seegang und den Tiefgang des Schiffes, permanent die Geschwindigkeit des letzteren im Wasser bezw. bei verankertem Schiff die Stromgeschwindigkeit an.

Die Skala des Manometers ist vorläufig noch durch Abhaltung von Geschwindigkeitsfahrten empirisch zu bestimmen. Indessen brauchen diese Fahrten für jedes Schiff und Mundstück nur ein Mal gemacht zu werden, da die gewonnenen Erfahrungswerthe ein bleibendes Material für die spätere Kontrole und Berichtigung der Fahrtmesser-Skala abgeben. Zu diesem Zwecke werden die Manometer nach der Probefahrt auf einem dafür eingerichteten Kontrol-Apparate, bestehend aus einer Luftpumpe und einem Wassersäulen-Manometer, aufgepumpt und hierbei die den beobachteten Fahrgeschwindigkeiten entsprechenden Wassersäulen direkt und genau ermittelt.

Umgekehrt dienen letztere dann wieder für die spätere Kontrole oder Neuaufstellung der Manometer-Skalen.

Erläuterung einiger Details des Apparates.

1. Das Mundstück *M* ist möglichst tief unter Wasser und möglichst weit nach vorne am Bug oder Vorsteven zu befestigen, ersteres, um dasselbe bei starkem Seegang unter Wasser zu halten, letzteres, um die Stromfäden so viel wie möglich ohne voraufgehende Ablenkung oder Verzögerung durch den Schiffskörper auf die Mündungen *d* und *s* wirken zu lassen und somit konstant bleibende Verhältnisse zu schaffen.

Bei der Wahl des Platzes ist ferner darauf Rücksicht zu nehmen, dass das Mundstück vor gewaltsamer Beschädigung durch Anker oder Grundberührung etc. thunlichst geschützt sitzt.

Bei hölzernen Schiffen wird das Mundstück in der Regel vor dem Steven befestigt (Taf. XXVII), bei eisernen, namentlich, wenn dieselben

vorne scharf gehalten sind (wie schnelle Kreuzer, Avisos und Torpedoboote etc.), symmetrisch auf beiden Seiten des Bugs in der auf Taf. XXVIII veranschaulichten Weise.

Bei erstgedachter Anordnung können die Verbindungsrohre *d* und *s* zwischen Mundstück und Windkessel bis zu ihrer Durchführung durch den Schiffsboden in den Loskiel bezw. in die Holzbeplankung eingelassen und dadurch geschützt, in dem anderen Falle direkt vom Mundstück ab nach innenbords verlegt werden.

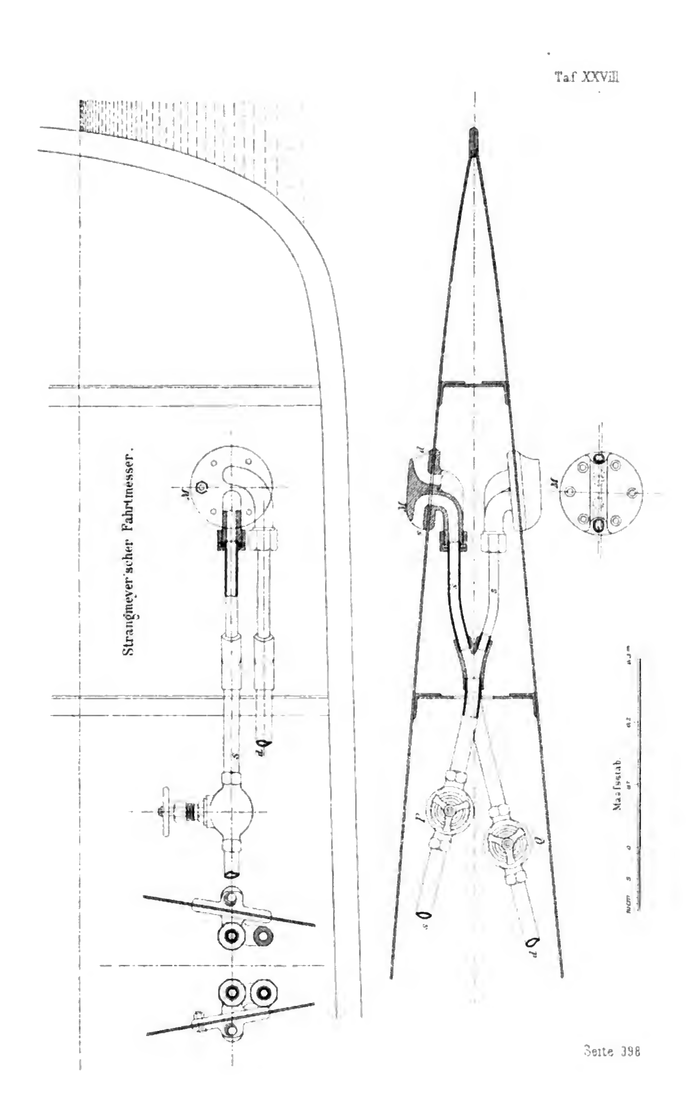
Beide Rohrleitungen sind sowohl innen an der Schiffswand bezw. am Schiffsboden, als auch an den Windkesseln mit Absperrventilen versehen. Hierdurch wird nicht nur eine Revision aller innenbords liegenden Theile ermöglicht, sondern auch eine beliebige Verengung der betreffenden Durchgangsöffnung, um störende Schwankungen des Manometerzeigers bei bewegtem Schiff zu verhindern. Dieser Zweck wird im Allgemeinen um so vollkommener erreicht, je näher die Bodenventile an dem Mundstück *M* sitzen, also am vollkommensten bei der Anordnung des Mundstückes nach Taf. XXVIII.

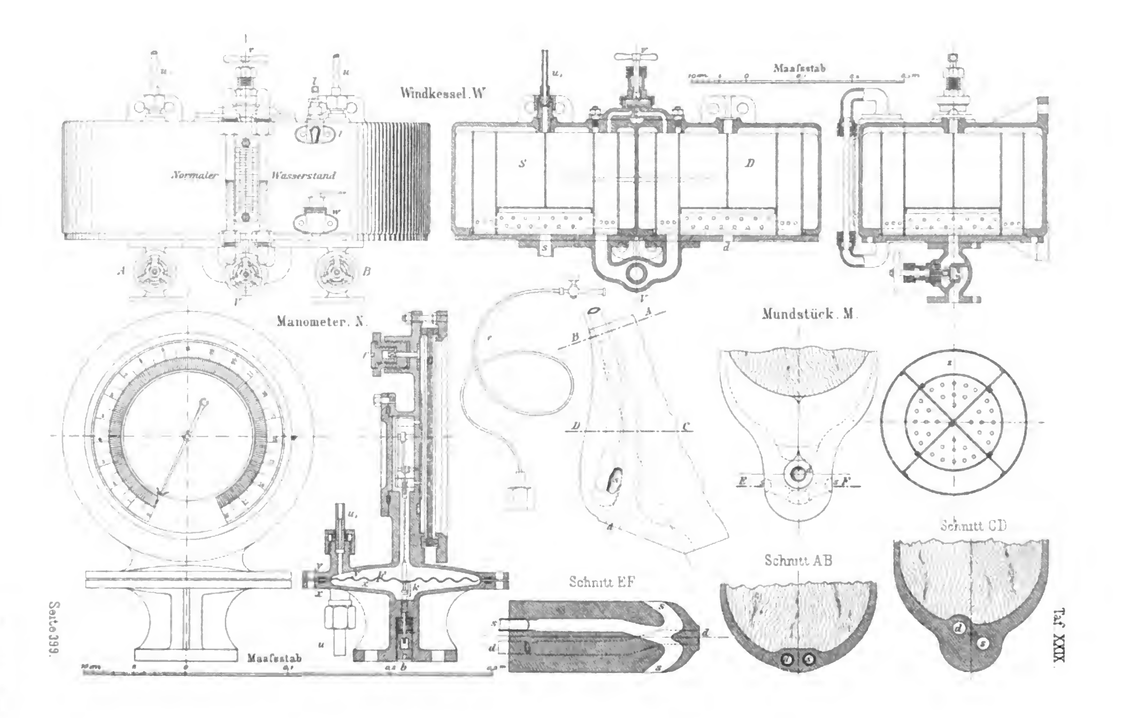
Für den ruhigen Gang des Manometers ist ferner die Verwendung einer engen Rohrleitung zwischen Mundstück und Windkessel vortheilhaft. Da diese sich aber leichter verstopft, so ist eventuell die Einschaltung eines Schlammsammlers, bestehend aus einer ballon- oder topfförmigen Erweiterung, möglichst nahe dem Bodenventile zu empfehlen. Von hier ab nach aussenbords hin können Rohre und Mundstück unter Benutzung der hierfür vorgesehenen Einrichtung (Rohr *r* mit Absperrventilen *m n* auf Taf. XXVII) mit Dampf oder komprimirter Luft von der Torpedo-Armirung durchgeblasen und gereinigt werden.

Die Rohrleitungen *d* und *s* sind so zu verlegen, dass sie entweder nach dem Windkessel oder nach dem Mundstück hin ansteigen, damit die Luft aus denselben nach der einen oder anderen Richtung entweichen kann. Ist dieses nach den räumlichen Verhältnissen nicht ausführbar, so können derartige Luftsäcke durch aufgesetzte, bis über die Wasserlinie geführte kleine Steigerohre *t* auf Taf. XXVII leicht beseitigt werden.

2. Der Doppelwindkessel *W* ist in einem zugänglichen Raume und soweit wie möglich in der Schiffsmitte, wo die Schwankungen am geringsten sind, aufzustellen; zur Beruhigung des Wassers in demselben dienen ferner die auf Taf. XXIX veranschaulichten Blecheinsätze *Z*, welche jede Kammer in eine Anzahl kleiner Zellen eintheilen; diese stehen unter einander durch die in den Scheidewänden vorhandenen Löcher in Verbindung.

Der Wasserstand im Windkessel ist auf eine gewisse Höhe 0, für welche die Skala des Manometers *N* abgestimmt ist, einzustellen. Es geschieht dies mit Hülfe der hierfür vorgesehenen Hähne und Verbindungsrohre nach der weiter unten gegebenen Anweisung.


Strangmeyer'scher Fahrtmesser.
Maafsstab


Windkessel. W
Normaler
Wasserstand
Maafsstab
Manometer. N
Mundstück. M
Schnitt EF
Schnitt AB
Schnitt CD
Maafsstab

Bei der Fahrt des Schiffes treten in beiden Kammern des Windkessels geringe Niveau-Unterschiede auf, welche — ausser von der Schiffsgeschwindigkeit — abhängig sind von der Grösse des in den Kammern herrschenden Druckes, von der lichten Höhe der Kammern über dem Niveau und von der Grösse des Luftvolumens (schädlichen Raumes) in den Leitungen und Manometern. Um diese Niveaudifferenzen daher klein und somit als etwaige Fehlerquelle (bei veränderlichem Tiefgang) unschädlich zu machen, ist der Windkessel möglichst tief unter der Wasserlinie aufzustellen, in der Höhe niedrig und im Horizontalquerschnitt gross zu bemessen; ferner ist die Luftleitung eng zu machen. Ist letztere sehr lang, so muss der Windkessel ausserdem entsprechend gross gewählt werden.

Die Luftleitung u und u_1 zum Manometer besteht aus gezogenen Kupferröhren ohne Naht von etwa 4 bis 5 mm lichtem Durchmesser (je nach Länge) und 2 mm Wandstärke, aus Enden von 6 bis 8 m Länge mittelst übergeschobener Muffen zusammengelöthet; die Verbindungen der Rohre mit den Bordstutzen der Verschraubungen, welche beim Anziehen der Muttern oft stark beansprucht werden, müssen möglichst widerstandsfähig hergestellt und daher hart gelöthet werden. Es erscheint ferner zweckmässig, den unteren Theil der Luftleitung bis zur Wasserlinie etwas weiter — etwa 8 bis 10 mm Durchmesser — zu wählen und ihn, damit er nicht zu lang ausfalle, möglichst direkt aufsteigen zu lassen; es wird sich dann das in die Leitung etwa eingedrungene Wasser leichter entfernen lassen (siehe Behandlung des Fahrtmessers weiter unten).

Vor dem Verlegen werden die Luftrohre mit Dampf durchgeblasen, um sie zu reinigen und auf ihren freien Durchgang zu untersuchen, und sodann mit innerem Wasserdruck von 30 bis 40 Atmosphären auf Dichtigkeit und Längsrisse etc. geprüft. Diese Druckprobe wird, wenn die ganze Leitung fertig verlegt ist, wiederholt. Um alsdann das Wasser aus der Leitung zu entfernen, ist diese mit Hülfe einer Handluftpumpe, wenn angängig, mit heisser Luft längere Zeit durchzublasen.

3. Das Plattenfeder-Manometer N (Taf. XXIX) kann in beliebiger Anzahl aufgestellt und an die vorgedachte Luftleitung angeschlossen werden. Die Räume zu beiden Seiten der Plattenfeder F sind sowohl gegen einander als auch nach aussen hin vollkommen luftdicht abgeschlossen. Ueber dem Zeiger erfolgt dieser Abschluss durch eine starke Glasscheibe G; dadurch wird die Uebertragung der Plattenfeder-Bewegung auf dem Zeiger ohne Anwendung einer Stopfbuchse ermöglicht.

Der Hub der Plattenfeder ist nach oben und unten durch eine Schraube mit Haken k begrenzt, um einer Ueberspannung der Feder vorzubeugen. Die Schraube ist in einer Stopfbuchse b luftdicht durch den Fuss des Manometergehäuses geführt und mit Hülfe eines Schlüssels verstellbar.

In ähnlicher Weise kann das Zifferblatt des Manometers bei f mittelst Aufsteckschlüssels gedreht und somit die Skala auch während der Fahrt innerhalb gewisser Grenzen eingestellt werden.

Der von dem Manometer angezeigte Ueberdruck nähert sich im Allgemeinen dem aus der Formel $h = \frac{v^2}{2g}$ berechneten, worin h die Höhe einer dem Druck entsprechenden Wassersäule in Metern, v die Schiffsgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde und g die Beschleunigung der Schwere = 9,81 m bezeichnet.

Bei scharfen Schiffen mit vor dem Steven befestigtem Mundstück (Taf. XXVII) ist der gemessene Druck meistens etwas grösser, bei vollen Schiffen und solchen mit seitlich am Bug angebrachten Mundstücken (Taf. XXVIII) etwas geringer, als dieser theoretische Geschwindigkeitsdruck.

Behandlung des Fahrtmessers.

Der Wasserstand im Windkessel ist so zu reguliren, dass er, wenn das Schiff relativ zum Wasser still liegt, der Druck im Windkessel also nur durch den hydrostatischen Druck des Wassers aussenbords beeinflusst wird — in beiden Kammern S und D auf der gleichen Höhe 0 steht, für welche die Manometer-Skala abgestimmt ist.

Folgt hieraus, dass das Reguliren des Wasserstandes am einfachsten bei stillliegendem Schiff vorgenommen wird, wo der hydrostatische Druck im Windkessel weder durch die drückende Wirkung des einen, noch durch die saugende des andern Rohres beeinflusst wird, so kann es doch auch mit völlig hinreichender Genauigkeit während der Fahrt in folgender Weise geschehen.

Man schliesst die beiden Absperrventile A und B (Taf. XXIX); öffnet die Ventile V und v, welche die beiden Kammern S und D in Verbindung setzen; öffnet das Luftventil l und lässt durch den Abflusshahn w soviel Wasser abfliessen, bis der Wasserstand hinreichend tief — in der Regel genügen 4 bis 5 cm — unter 0 gefallen ist; schliesst das Luftventil l und öffnet das Wassereinlassventil A der Kammer S;*) lässt durch l vorsichtig soviel Luft entweichen, bis der Wasserspiegel in beiden Kammern auf 0 gestiegen ist; schliesst die Verbindungsventile V und v gut dicht.

Beim Reguliren ist darauf Bedacht zu nehmen, dass die Verbindungsventile V und v nicht früher geschlossen werden, bis der Ausgleich der Luft- und Wasserdrucke in beiden Kammern wirklich erfolgt ist.

Der Anschlag der Plattenfeder im Manometer ist so zu bemessen, dass die Feder bei der 0-Stellung des Zeigers, d. i. bei gleichem Druck in beiden Kammern des Windkessels, leicht aufliegt; es kann der Zeiger dann nach rückwärts nur wenig oder gar nicht ausschlagen.

---

*) Denn die saugende Wirkung des Wasserstromes auf die Kammer S ist geringer, als die drückende auf D und beeinflusst daher, wenn das Schiff fährt oder im Strom vor Anker liegt, den hydrostatischen Druck in S weniger, als in D.

Treten bei bewegtem Schiff an dem Manometerzeiger störende Schwankungen auf, so können diese durch Drosseln der Zulassventile A und B, sowie namentlich der Bodenventile P und Q (Taf. XXVII) beseitigt, bezw. auf ein zulässiges Mass herabgemindert werden; bei regelmässiger Fahrt können die bezeichneten vier Ventile event. bis auf eine ganz geringe Durchlassöffnung geschlossen werden, ohne dass der richtige Gang des Fahrtmessers dadurch beeinträchtigt wird.

Um einer etwaigen Verstopfung der aussenbords liegenden Rohre durch Schlick und Muscheln etc. vorzubeugen, empfiehlt es sich, die Rohre mit Dampf oder komprimirter Luft mit Hülfe der hierfür vorgesehenen Einrichtung zeitweilig durchzublasen; natürlich sind die Ventile A und B, sowie event. auch die Bodenventile P und Q vorher zu schliessen.

Es ist darauf zu achten, dass das Wasser nicht in die von dem Windkessel abgehende enge Luftleitung u und u_1 steigt. Sollte dies indessen einmal geschehen, so empfiehlt es sich, die Rohre an den Manometern loszuschrauben und von oben durchzublasen, damit das Wasser nicht etwa in der engen Leitung haften bleibe und dann später bei nachfolgendem Luftdruck von unten noch weiter in dieselbe hineingetrieben werde. Es ist daher auch zweckmässig, die Wasserzulassventile bei längerer Ausserbetriebsetzung des Fahrtmessers abzusperren.

Windkessel (soweit er mit Luft gefüllt ist) mit Armatur, Luftleitung und Manometer müssen gut dicht sein, wenn ein häufigeres Reguliren des Wasserstandes im Windkessel vermieden werden soll.

Vorhandene Undichtigkeiten verrathen sich leicht durch das Steigen des Wasserstandes im Windkessel bezw. Ausschlagen des Manometerzeigers bei stillliegendem Schiff.

Die nächste Aufgabe ist dann, diese Undichtigkeiten aufzufinden; denn einmal erkannt, sind sie leicht beseitigt.

An der Luftleitung selbst werden, wenn dieselbe von vorn herein sorgfältig verlegt und geprüft ist, die in Rede stehenden Mängel nachträglich höchst selten auftreten.

Der Windkessel lässt sich in einfachster Weise dadurch prüfen, dass man die Luftrohre losschraubt und ersteren alsdann dem Wasserdruck von aussenbords aussetzt; etwaige Leckagen bezeichnen dann die fehlerhaften Stellen.

Das Manometer wird abgenommen, mit Hülfe eines kleinen Röhrchens e (Taf. XXIX), welches zur Manometerverschraubung passt und durch einen Hahn absperrbar ist, auf der Druckseite x der Plattenfeder mit dem Munde aufgeblasen, bezw. auf der Saugeseite y derselben luftleer gesaugt, so dass also in beiden Fällen der Zeiger aufsteigt. Bleibt der letztere nach Abschluss des Hahnes dann einige Zeit auf einem Punkte fest stehen, so ist das Manometer dicht. Ist dies nicht der Fall, so wird folgendermassen verfahren:

Man verschliesst mit einer Kapselmutter den Verschraubungsstutzen x oder y auf der einen Seite der Plattenfeder, bläst wiederum mit Hülfe des vorerwähnten Röhrchens die andere (als undicht befundene) Seite der Plattenfeder mit dem Munde auf und taucht das ganze Instrument, nachdem der Hahn geschlossen ist, in einem Gefäss mit klarem Wasser ganz unter. Es verrathen die aufsteigenden Luftblasen dann die undichten Stellen.

Bei dieser Probe ist nur dafür Sorge zu tragen, dass alle Verschlüsse gut dicht sind, damit nicht etwa Wasser in das Innere des Manometergehäuses eindringe.

Um etwaige Gussporen unschädlich zu machen, sind Manometergehäuse und Windkessel etc. an den Innenwänden verzinnt.

Anhang.

Gelegentliche Vermessungen.

I. Allgemeines.

In der folgenden Darstellung werden nur Vermessungen ins Auge gefasst, welche mit geringen Hülfsmitteln in kurzer Zeit ausgeführt werden sollen und welche sich nicht an vorhandene kartographische Arbeiten anschliessen. Diese beiden Voraussetzungen vereinigt stellen solche „flüchtigen Vermessungen" in mancher Hinsicht in fundamentalen Gegensatz zu regulären Küsten-Vermessungsarbeiten, und es ist von Wichtigkeit, sich über diesen Gegensatz von vornherein zu orientiren. Die folgenden allgemeinen Bemerkungen werden zu diesem Zweck vorangestellt:

1. Wenn man absieht von ganz einfachen Aufnahmen engbegrenzter Ankerplätze und dergl., welche durch ein oder mehrere Boote in kurzer Zeit zu Ende gebracht werden, so gilt als Regel, dass die Vermessung vom Schiff selbst aus geleitet werden muss. Derjenige, welcher die Arbeit dirigirt, muss die volle Disposition über die Bewegungen des Schiffes haben, der Ankerplatz muss allein mit Rücksicht auf den Fortgang der Arbeit gewählt und successive verlegt werden. Was vom Schiff aus gemessen werden kann, ist den Booten in der Regel nicht zu übertragen, denn die Resultate der Beobachtungen an Bord sind immer die zuverlässigeren. Sind mehrere Fahrzeuge mit einer Aufnahme beschäftigt, so ist ein Zusammenarbeiten als Regel zu betrachten, nur in seltenen Fällen kann es von Vortheil sein, jedem einzelnen Fahrzeug ein Gebiet für sich zuzutheilen.

2. Für die erste Disposition bei dem Beginn der Arbeit ist nicht als Ausgangspunkt eine abzumessende Basis zu nehmen. Die Aufgabe muss so gefasst werden, dass man sich über das zunächst zu vermessende Gebiet und dessen Grenzen klar wird und in demselben zwei Hauptpunkte als Endpunkte einer dieses Gebiet durchschneidenden langen Grundlinie aufsucht. Die in Aussicht zu nehmende Ausdehnung ist danach zu bemessen, dass jene beiden Hauptpunkte von einander noch eben gut sichtbar sind. Als zunächst zu vermessendes Gebiet ist — falls eine Theilung

hiernach erforderlich wird — dasjenige zu wählen, welches die günstigste „lange Grundlinie“ verspricht.*)

Hier muss also eine Rekognoscirung vorangehen, am besten mit dem Schiff selbst, ungünstiger vom niedrigen Standpunkt eines Bootes. Daneben wird ein dominirender Punkt am Lande häufig einen werthvollen Standort abgeben.

Man sucht nun die Lösung: Richtung direkt und Entfernung durch Kleintriangulation zwischen den Endstationen festzustellen. Auf diese Weise entgeht man der Gefahr, unter lokalen günstigen Verhältnissen eine Detailarbeit in Angriff zu nehmen, deren Weiterführung nachher um so umständlicher werden kann. Wie eine Basis zu finden und zu messen ist, kann zunächst vorbehalten bleiben.

3. Die definitive Eintragung in eine Arbeitskarte an Bord darf nicht als das ausschliessliche Ziel der Arbeit aufgefasst werden. Die an Bord entworfene Karte ist in erster Linie nur für den Zweck der Orientirung über das gesammelte Material aufzufassen. Die übersichtlichste Zusammenstellung der Beobachtungen in dazu anzulegende Bücher und partielle Skizzen, nach welchen Aufzeichnungen später der Kartograph die Karte anfertigt, ist das Wichtigste.**)

Nur auf diese Weise ist es möglich, gegenseitig kontrolirende Bestimmungen erschöpfend zu verwerthen. Man würde sonst zurückschrecken vor einer Anhäufung von Beobachtungsmaterial, welches in die Karte direkt niederzulegen zu einer nicht endenden Ausgleichungsarbeit führen muss. So aber können unabhängig von der Kartenskizze immer neue Abstandsbestimmungen vorgenommen, bei jeder günstigen Gelegenheit die Richtung des Meridians unabhängig bestimmt, soweit angängig immer alle drei Winkel in einem Dreieck gemessen werden.

Auf der anderen Seite ist von orientirender Niederlegung der Beobachtungen in Skizzen der ausgedehnteste Gebrauch zu machen. In jedem lothenden Boot und bei jeder Aufnahme der Küstenlinie sollte man sich nicht auf eine Skizze im Notizbuch beschränken, sondern Reissbrett und Transporteur mit sich führen, um an Ort und Stelle immer ein sicher orientirendes Bild der fortschreitenden Arbeit vor sich zu haben. Diese Vorschrift ist nicht immer zu befolgen, aber deshalb nicht allgemein abzuweisen, in der Praxis wird man ihren Werth sehr schnell erkennen.

*) Unter allen Küstenformen würde eine kreisförmige Insel hier am ungünstigsten erscheinen. Das Schiff selbst würde dann oft den einen der Endpunkte der Grundlinie (letztere nahe in der Tangentialrichtung) zu bilden haben.

**) Es ist hier der Ort, hervorzuheben, ein wie geringer Werth einer Karte beizumessen ist, welche ohne jedes Material eingeliefert wird, auf welches sich die Eintragungen stützen. Widersprechende Angaben solcher Skizzen kommen nicht selten vor, deren Zuverlässigkeit abzuwägen jeder Anhalt fehlt. Die Phantasie des Zeichners vermindert oft gegen den Willen des Urhebers die Zuverlässigkeit, und der natürliche Wunsch, die mühevolle Arbeit praktisch nutzbar zu machen, verleitet zur Veröffentlichung, deren Korrektheit später von Niemand vertreten werden kann.

4. Für die Arbeitskarte ist bei einer solchen Vermessung kein Kartennetz zu entwerfen. Dasselbe ist vielmehr den Eintragungen erst nachher anzupassen. Da man, wie erwähnt, Messung und Berechnung einer Basis nicht als Ausgangspunkt nimmt, so wird den Eintragungen eine angenähert gemessene oder geschätzte Entfernung zu Grunde gelegt und der Massstab erst später genau ermittelt.

Es ist also bei der ersten Disposition als Princip festzuhalten:

1. Den Schwerpunkt der Vermessungsarbeit in das Schiff zu verlegen.
2. Lange gerade Linien zu Grunde zu legen.
3. Alle Beobachtungen in übersichtlicher Form zu registriren.

Die Hervorhebung dieser Punkte wird für die zunächst ins Auge zu fassenden Anordnungen einen Anhalt gewähren.

II. Vorbereitungen.

Vor Ankunft auf dem Vermessungsgebiete sind Vorbereitungen mannigfacher Art zu treffen. Vorauszusetzen ist, dass die Litteratur an Karten und Büchern soweit zugänglich ist, um sich zu orientiren über die Natur der Küsten und des Landes im Allgemeinen und über das im Besonderen, was an Aufnahmen dort vorher schon geleistet ist. Dadurch werden die Vorbereitungen eine bestimmte Richtung nehmen. Allgemein ist Folgendes hervorzuheben:

An Material ist reichliche Versorgung mit Zeichen- und Pauspapier, Notizbüchern, Bleistiften und Zeichenmaterial vorzusehen. Ferner ist feineres Holz sehr nützlich, aus welchem der Tischler an Bord Reissbretter und Dreiecke verschiedener Grösse anzufertigen vermag, für den Gebrauch der einzelnen Vermessungspikets.

Für jede Vermessungsarbeit ist ferner erforderlich bereitzuhalten: Material zur Errichtung von festen und schwimmenden Baken (Geschützscheiben-Material). Altes Segeltuch und alte Flaggen zur Kennzeichnung der Baken und Landmarken. (Das Segeltuch wird dabei mit Kalk- oder Mennige-Anstrich versehen.) Fässer, welche als Bojen auszulegen sind, in verschiedenen Grössen. Dieselben müssen gehörig abgedichtet sein und roth angestrichen werden. Dazu altes Tauwerk zum Bestroppen und Verankern. Ankersteine, im Nothfalle statt derselben gefüllte Kohlensäcke oder Roststäbe in genügender Menge. Soviel wie möglich ist bei Bezeichnung der Punkte werthloses Material zu verwenden, welches einerseits nicht leicht gestohlen wird und andererseits nöthigenfalls ohne Schaden im Stich gelassen werden kann. Statt Fässer mit hohen Flaggen ist die Anwendung schwimmender Baken — wie Pyramidenscheiben — vorzuziehen. Ferner hat der Zimmermann einige Pegellatten, eine grössere Anzahl Markirstäbe (roth und weiss) mit Spitzen von Eisenblech vorzubereiten. Für das Observatorium ist ein Theodolitzelt und Stativ (vergl.

S. 378) anzufertigen. Die in Gebrauch zu nehmenden neuen Lothleinen sind durch Nachschleppen mit daran befestigtem Loth gehörig zu recken.

Für die Ausrüstung der Boote ist das Erforderliche vorzusehen. Für Vermessungen im stillen Wasser ist gelegentlich ein erhöhtes Stativ hinten im Boot nützlich für Karten und zum Gebrauch des Kompasses bei Rekognoscirungen, ferner für den Mann am Loth im Bug des Bootes ein Standort mit Lothschürze und eine tiefliegende Klampe mit Scheiben zum Einholen der Lothleine, ohne die Riemen zu belästigen. Das Loth im Heck des Bootes ist sehr unbequem. Diese im Boot zu treffenden Einrichtungen sind besser praktisch im Hafen zu erproben und nicht bei gehissten Booten in See festzustellen. Die Takelage der Boote muss selbstverständlich durchaus vollständig und ohne Behinderung der Riemen in Gabeln zu verstauen sein. Der Bootsdienst wird als durchaus geregelt vorausgesetzt.

III. Rekognoscirung. Wahl und Bezeichnung der Dreieckspunkte.

Selbst für eine einfache Aufnahme ist eine Rekognoscirung nicht zu unterlassen, wenn es zunächst auch scheinen könnte, als wenn die darauf verwendete Zeit in keinem Verhältniss stehe zu der kurz bemessenen Frist, in welcher die ganze Arbeit beendet sein soll.

Um einen Ueberblick zu gewinnen, ist ein hoher Standort wesentlich, demnächst günstige Beleuchtung. Hat man die Wahl, so ist vor Allem eine Rekognoscirungsfahrt mit dem Schiff vorzunehmen, auf welcher mit Log und Kompass schon eine lose Skizze erlangt werden kann. Eine Rundsicht aus der Takelage ist oft sehr förderlich. Gleichzeitige Besetzung einer dominirenden Heliotropenstation am Lande kann die Orientirung bedeutend fördern. Die Rekognoscirung hat zunächst zum Zweck, die Hauptstationen für die Vermessung auszuwählen, sowohl diejenigen, von welchen aus beobachtet werden soll, als auch diejenigen, welche nur anvisirt (eingeschnitten) werden sollen. Solche Hauptstationen werden hauptsächlich gewählt werden aus 1. Bergen, 2. Küstenvorsprüngen, 3. Inseln und Klippen, 4. künstlichen, bereits vorhandenen oder noch zu schaffenden Zeichen.

1. Bergspitzen sind — für Vermessungen vom Schiff aus, namentlich auch solche in einiger Entfernung von der Küste, — die werthvollsten Landmarken. Sie sind unveränderlich, weit sichtbar, ihre genaue Niederlegung in die Karte ist ebenso an sich von bleibendem Werth wie vortheilhaft für die Vermessungsarbeit. Solche, welche sich durch einen einzelnstehenden Baum, einen Stein oder auffallende Gestalt des Gipfels auszeichnen, sind von besonderem Werth zum Anvisiren; solche in grosser Nähe der Küste sind, so oft angängig, als zu besetzende Theodolitenstationen mit in das trigonometrische Netz hineinzuziehen. Die Zeit, welche ihre Besteigung kostet, bringt sich durch die zu erlangende Vervielfältigung von Winkeln wieder ein. Ob der dazu erforderliche Rund-

blick oben erwartet werden kann, ist nach einer Rekognoscirungsfahrt mit ziemlicher Sicherheit zu beantworten. Ueber die Bestimmung der Küstenkontur durch Depressionswinkel siehe S. 424.

Oft hat man eine Anzahl guter Punkte an entfernter liegenden Bergen, welche aber nicht mehr auf das begrenzte Gebiet fallen, von welchem eine Karte entworfen werden soll. Niemals darf aber unterlassen werden, diese entfernten Punkte mit in die Winkelmessung hineinzuziehen, da gerade diese Punkte unschätzbar für die Aneinanderreihung einzelner Vermessungsgebiete sind. Diese Unterlassung schliesst sich von selbst aus, wenn man eben nicht mit alleiniger Rücksicht auf die augenblicklich an Bord zu fertigende Kartenskizze arbeitet, sondern das Beobachtungsmaterial tabellarisch zusammenstellt. Eine Skizze, welche die gegenseitige Lage solcher entfernten Punkte und ihre Benennung erkennen lässt, wird ohne viel Erläuterungen Späteren die erforderliche Orientirung gewähren.

2. Küstenvorsprünge sind trügerische Landmarken und unbesucht nicht als Stationspunkte zu wählen. Eine ausgedehnte Küstenstrecke mit abgerundeten Konturen erscheint von der Seite gesehen scharf markirt und doch nicht selten eine ganze Strecke weit in derselben Vertonung. Eine Tangente an die Küstenlinie darf daher nicht zur Bestimmung eines Punktes benutzt werden.

Dürfen also Küstenvorsprünge ohne Zeichen im Allgemeinen nicht als Hauptpunkte zum Anvisiren benutzt werden, so ist ihre Verwendung als Theodolitstationen in erster Linie ins Auge zu fassen. Dieselben sind dann namentlich auch mit Rücksicht auf die vorzunehmenden Küstenlothungen auszuwählen und durch künstliche Zeichen recht deutlich kenntlich zu machen.

3. Kleine Inseln und Klippen sind ganz besonders geeignete Stationspunkte. Sie haben vor den Bergen den Vortheil voraus, dass sie im Niveau des Meeres anvisirt werden können, also für Sextantenmessungen besser geeignet sind; andererseits werden sie leichter von der dahinter liegenden Küste verdeckt und dadurch schlecht sichtbar. Solche Punkte sind aber stets zu bevorzugen, denn ihre Benutzung ist am vielseitigsten. Sie bieten durch häufige Deckpeilungen und Alignements den Messungen vom Schiff und von den Booten eine wichtige Grundlage. Auf ihre Kenntlichmachung ist besondere Sorgfalt zu verwenden durch Errichten von Baken oder durch weissen Kalkanstrich der Steine. (In Stelle der Baken werden weissgekalkte Steinpyramiden [Cairns] sehr empfohlen.)

4. Künstliche Zeichen werden sich in civilisirten Ländern stets eine Menge finden und in erster Linie zu benutzen sein (Thürme, Schornsteine, Häuser etc.). Die hier zu besprechenden Vermessungsarbeiten können aber weniger von solchen Objekten ausgiebigen Gebrauch machen. Ist man genöthigt, selbst Zeichen zu errichten — und für das Detail der Vermessung wird dies immer erforderlich werden — so gilt die Regel:

ein solches Zeichen kann niemals zu gross sein. Es ist Alles daran zu setzen, um Punkte, welche für die Vermessung geeignet liegen, auch weithin kenntlich zu machen. Einfache Stangen, auch von ziemlicher Länge, genügen dazu nie, ein oder mehrere Bälle über einander, am besten Körbe, weiss angestrichen, müssen die Stange deutlicher kenntlich machen und die benachbarten Bäume überragen. Dreieckige Baken sind an wenig geschützten Orten am zuverlässigsten (von der Form schwimmender Pyramidenscheiben, oder höhere mit Stagen gestützt).

Die Zahl der Zeichen ist zu beschränken, auf die Sichtbarkeit der wenigen desto mehr Gewicht zu legen. (Für lokale Benutzung beim Lothen etc. kann es den Einzelnen überlassen bleiben, sich, wenn erforderlich, temporär kleinere Zeichen auszulegen.) Zeichen am Lande sind am besten weiss, schwimmende Zeichen immer roth.

Die Benennung der Stationen ist nicht gleichgültig. Es kommt darauf an, ihnen charakteristische Namen zu geben, welche sich dem Gedächtniss leicht einprägen, auch bei der Eintragung in die Karte die Unterscheidung erleichtern, z. B. Waldecke, Sandspitze, Mittelbake und dergl. Die Bezeichnung mit Zahlen oder Buchstaben empfiehlt sich nicht und bleibt auf die Bestimmungspunkte von Küstenkonturen und Sandbänken etc. beschränkt.

IV. Die Triangulation.

Auf Grund der Rekognoscirung sind die Stationen bestimmt, welche die Hauptdreieckspunkte bilden sollen. Die genauen Punkte der zu errichtenden Zeichen auf diesen Stationen werden an Ort und Stelle festgestellt unter Festhaltung des Gesichtspunkts, dass ein solcher Dreieckspunkt allein die Bestimmung hat, von ihm aus deutlich recht viele andere Dreieckspunkte zu sehen und von diesen deutlich gesehen zu werden.*)

Zwischen den beiden Endstationen der langen Grundlinie nimmt das Schiff, wenn angängig, einen geeigneten Ankerplatz ein mit der Massgabe, dass das Schiff selbst thätigen Antheil an der Vermessungsarbeit nehmen soll. Die Festlegung der Dreieckspunkte gegen einander durch Winkelmessung erfolgt nach Aufrichtung aller Baken. Beide Vornahmen mit einander zu verbinden, ist nur auf Grund hinreichender Erfahrung zu unternehmen.

Die Winkelmessung wird nun successive auf einer Station nach der andern möglichst in solcher Reihenfolge vorgenommen, dass ein Dreieck nach dem andern abgeschlossen wird. Ein dominirender Hauptpunkt bleibt während der ganzen Zeit am vortheilhaftesten besetzt und misst mit der von ihr sichtbaren, jeweilig arbeitenden Dreiecksstation gleichzeitig und

*) Es ist ausserordentlich bequem, wenn der Theodolit stets genau auf den Stationspunkt centrirt werden kann. Jedoch ist es nicht immer anzurathen, die Zeichen so aufzustellen, dass die der centrischen Position des Theodoliten nicht im Wege oder wegzunehmen sind. Der Einfluss der nicht centrischen Aufstellung ist stets zu untersuchen und event. in Rechnung zu ziehen.

reciprok Winkel. Der Gebrauch des Heliotropen auf beiden oder einer dieser Stationen ist sehr erwünscht. (Das Bertramsche Heliotrop lässt sich auch an Bord zusammenstellen. Siehe auch S. 46 über die Benutzung des Sextanten als Heliotrop.) Ausserdem treten noch die gleichzeitigen Sextantenmessungen vom Schiff, wo angängig, hinzu. Kann man beide Endstationen besetzen und zugleich von jeder mit der Triangulation nach der Mitte fortschreiten, so wird sich dies empfehlen. Je mehr gleichzeitige reciproke Messungen, je sicherer ist die Kontrole, deren Werth bei diesen passageren Arbeiten nicht hoch genug zu veranschlagen ist. Wo aber der Theodolit aufgestellt werden kann, ist nicht der Sextant zu verwenden. Es werden also in der Regel nicht Instrumente in genügender Zahl gleichzeitig zu Verfügung stehen.*)

Ueber die Messungen von einem Dreieckspunkt aus ist Folgendes zu erwähnen:

1. Zuerst ist eine Rundmessung vorzunehmen, welche ausschliesslich die Dreieckspunkte berücksichtigt. Diese ist jedenfalls mit durchgeschlagenem Fernrohr zu wiederholen.

2. Eine folgende Rundmessung enthält die fernerliegenden Bergspitzen, Inseln und ähnliche Punkte, welche ausserhalb des zunächst in Frage kommenden Vermessungsfeldes liegen.

3. Ueber die Berücksichtigung des Details bei der Triangulirung muss eine besondere Vorschrift gegeben sein. Dasselbe wird in der Regel in einer Rundmessung für sich zusammengefasst. Die Notirung dieser Winkel muss begleitet sein von erläuternden Bemerkungen, welche die gemachten Wahrnehmungen noch weiter nutzbar zu machen gestattet. (Verlauf der Küste, Objekte, welche sich decken, Verlauf der Brandung und des entfärbten Wassers u. dergl.)

4. Jede Messung mit dem Theodoliten erfolgt von rechts nach links (vorwärts) und nach dem Durchschlagen von links nach rechts (rückwärts).

5. Das Azimut der Sonne ist immer zu beobachten, wenn es geschehen kann, weil man nicht weiss, ob die Beobachtung dort, wo man sie bevorzugen will, gelingen wird.

6. Bei einer Sextantenstation ist ausser dem Vorstehenden noch die Regel zu befolgen: sogleich nach einer Rundmessung die Summe zu ziehen, um im Falle eines sich findenden Fehlers die Messung wiederholen zu können.

Ueber die Reduktion der Sextantenwinkel auf den Horizont (siehe S. 334). Sextantenwinkel befolgen nicht die Reihenfolge wie die Theodolitenwinkel. Man wählt die schärfsten Objekte als doppelt zu reflektirende und misst von jedem solchen nach links herum bis etwa 100°.

---

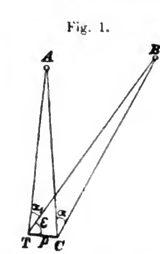
*) Instrumente mit Azimutalkreis, wie Magnetometer, Deklinatorium etc. sind oft nützlich als Theodoliten mit zu verwenden.

Mit den so gemessenen Winkeln ist die Grundlage der Arbeit geschaffen. Während die anderen Vornahmen ihren Fortgang nehmen, muss für Sichtung und erste Verwerthung des Triangulationsmaterials Sorge getragen werden. Die Winkel werden zu dem Zweck zunächst von ihren Fehlern befreit, dann dreiecksweise zusammengestellt und können dann mit Hülfe einer angenommenen oder gemessenen Seitenlänge zum Entwurf einer Karte dienen.

Fehler der Triangulation.

1. Nicht centrische Aufstellung auf der Station.

Fig. 1.



Wenn der Winkel α_1 zwischen A und B bei T gemessen ist, statt des Winkels α bei C, so ist (Fig. 1):

$$\alpha = \alpha_1 + p\,\frac{\sin(\alpha_1 + \varepsilon)}{AC\sin 1''} - p\,\frac{\sin\varepsilon}{BC\sin 1''}.$$

Für $\varepsilon = 0$ und $\alpha_1 = 90°$ (d. h. wenn B in der Richtung TC läge) würde die Korrektion ihr Maximum erreichen und betragen für:

$p = 1^m$ bei	3438^m	Korrektion	1'
	688		5'
	344		10'
	172		20'
	115		30'
	86		40'

daraus geht die Bedeutung der genau centrischen Aufstellung zur Genüge hervor.

Die Länge von BC ist gleichgültig, wenn $\varepsilon = 0$. Wenn also eine excentrische Aufstellung nothwendig wird, so ist sie so zu wählen, dass das Instrument zwischen dem Centrum der Station und den nächsten anzuvisirenden Objekten aufgestellt wird. Ein Winkelfehler von 5 Bogenminuten kann für die Bestimmung der Lage eines Punktes entscheidend werden, wenn er auch bei den günstig angeordneten Dreiecken der eigentlichen Triangulation noch nicht sogleich auffällig schädlich wirkt. Auf eine Centrirung des Instruments ist daher alle Sorgfalt zu verwenden, bezw. p und ε zu messen und zu notiren.

2. Ungenauigkeit des Zielpunktes.

Wenn das Zielobjekt nicht scharf markirt oder zweifelhaft ist, so entsteht ein Winkelfehler, welcher gleichfalls bei grosser Nähe des Objekts sehr anwächst.

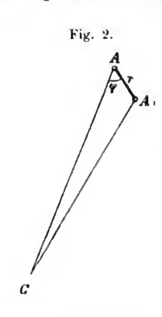
Ist A_1 statt A anvisirt (Fig. 2), so ist die Winkelkorrektion

$$C = \frac{r}{CA_1 \sin 1''} \sin\varphi,$$

welche für das Maximum $\alpha = 90°$ aus der obigen Zusammenstellung für $r = 1^m$ ebenfalls zu entnehmen ist. Daraus erhellt umgekehrt, dass die Einstellung entfernter Objekte mit ganz besonderer Sorgfalt geschehen

muss, während man bei nahen Objekten durch Anwendung einer gleichen Genauigkeit oft nur Zeit versäumt.

Fig. 2.



Nach der obigen Formel ist die Korrektion zuweilen nützlich zu verwenden, um einen Stationspunkt, welchen man selbst nicht sehen kann, noch durch ein in der Nähe aufgestelltes Zwischenobjekt in die Messung hineinzuziehen.

3. Der sphärische Excess (Unterschied der Winkel auf der Kugel gegen die Winkel in der Ebene) ist für nautische Vermessungen niemals bemerklich.

4. Es wird niemals eintreten, dass die drei gemessenen Winkel eines Dreiecks zusammen genau 180° betragen. Ist ihre Summe so nahe 180°, dass sie für die Vermessung brauchbar bleiben, so vertheilt man den Fehler (falls die Beobachtungen gleiches Vertrauen verdienen, was der Regel nach angenommen werden sollte) gleichmässig auf alle drei Winkel, unabhängig von der Grösse der Winkel.

V. Entfernungsbestimmung. Basismessungen.

Der wesentlichste Unterschied zwischen einer regulären und einer flüchtigen Vermessung besteht in der Methode, welche für die Basismessungen angewandt wird. Aus der theoretischen Vermessungskunde schon ist bekannt, dass die Basis um so kleiner sein kann, je genauer die Winkelmessung ist. Bei flüchtigen Vermessungen ist die Winkelmessung aber weit von Genauigkeit entfernt; eine einzelne kurze Basis als alleinige Grundlage ist daher ausgeschlossen.

Um eine Entfernung zu messen, hat man im Allgemeinen folgende Methoden:

1. Direkte Messung durch Stangen, Kette oder Leine.
2. Messung des Gesichtswinkels, unter dem ein Objekt von genau bekannter Höhe erscheint.
3. Messung der Zeit, in welcher der Schall die Entfernung zurücklegt.
4. Astronomische Ortsbestimmung der Endpunkte.
5. Messung durch das Log.

Alle diese Methoden sind anwendbar, keine derselben ist direkt zu verwerfen. Es kommt nur darauf an, den Umständen die günstigste Methode anzupassen.

Am meisten sind die Basismessungen durch astronomische Ortsbestimmungen und durch den Schall angefochten.

Die Mängel dieser Methode liegen auf der Hand, trotzdem wäre es falsch, sie hier auszuschliessen. Sehr wichtige Vermessungen, welche noch

für lange Zeit massgebend bleiben werden, haben keine andere Grundlage, als solche Basisbestimmungen. Die Umgebung des Kap Horn und die äussere Küste von Feuerland bis Chiloë, deren Vermessung durch King und Fitzroy noch heute keine Erweiterung nöthig gemacht hat, ist ein solches Beispiel. Fitzroy spricht als Resultat seiner damaligen Erfahrungen aus: „Die beste Basis (für eine Seevermessung) ist diejenige, welche aus guten astronomischen Beobachtungen hergeleitet ist, angestellt auf zwei Stationen, welche mehrere Seemeilen von einander entfernt liegen.“

Die Aufnahmen der United States exploring expedition in der Südsee erweisen sich immer noch als praktisch ausreichend für die Schifffahrt in einem grossen Gebiet. Bei Vornahme derselben wurde fast ausschliesslich der Schall zur Basismessung verwendet, welchen Fitzroy als höchst ungenau verwarf. Die örtlichen Verhältnisse und Hülfsmittel waren aber in jedem dieser beiden Fälle sehr verschieden und derartig, dass sie auf Nutzbarmachung jener, immerhin als wenig genau anerkannten Methoden zwingend hinwiesen. Beispiele von Fitzroy und Wilkes werden am Ende noch ausführlich gegeben werden.

1. Direkte Messung einer kleinen Basis.

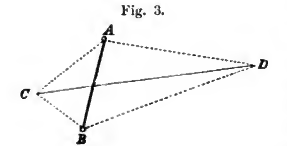
Bei der direkten Messung, welche mit Messstangen, Messketten oder Leinen ausgeführt werden kann, kommt wesentlich in Betracht, welche Länge man einer solchen Basis geben will. Hier kann nur die Messung einer kurzen Basis von etwa 300, höchstens 500 m mit der Leine besprochen werden. Kettenmessung ist natürlich auch für solche kurzen Grundlinien vorzuziehen, wenn eine Messkette zu haben ist. Lattenmessung aber, obgleich an sich das genaueste Verfahren, erfordert Kenntniss der zu berücksichtigenden Fehlerquellen und ist ohne solche Erfahrung misslich. Die Basismessung erfordert zunächst Aufsuchung und Vorbereitung eines ebenen Terrains, wovon die Anwendung der Methode abhängig bleibt. Ferner müssen die Endpunkte so liegen, dass man von ihnen aus die Basis durch Winkelmessung erweitern kann. Das Letztere ist wesentliche Bedingung. Ist ein solches Terrain geschaffen, so verfährt man in folgender Weise:

In dem einen Endpunkt wird der Theodolit, in dem andern ein Markirstab aufgestellt; sind zwei Theodolite zur Verfügung, in jedem Endpunkt einer, wodurch die Genauigkeit der Basisorientirung bei der von den Endpunkten nöthigen Winkelmessung von vornherein gesichert bleibt. Vermittelst des Theodoliten werden in abgeschrittenen gleichmässigen Abständen von nicht mehr als je 50^m Markirstäbe eingerichtet und gut vertikal fest aufgestellt. Eine gut gereckte Leine dient nun zur Messung von Stab zu Stab. Für die Nachmessung wird sogleich für jeden Stab eine unverschiebbare Marke auf die Leine gesetzt. Die Leine muss bei der Messung entweder ganz trocken, oder, wenn dies nicht angängig, ganz nass gehalten und in diesem Zustand vor- und nachher nachgemessen werden. Die Messung muss in ihrer ganzen Länge mindestens einmal

und, falls sich eine nennenswerthe Differenz zeigt, mehrmals selbstständig wiederholt werden.

Gestattet es die günstige Beschaffenheit des Terrains — worauf man indessen nicht rechnen darf —, so kann eine solche Basis durch Winkelabsteckung vortheilhaft in der Weise vergrössert werden, dass man zwei Punkte zu beiden Seiten der Basis von den Endpunkten anvisirt, welche zwischen den Endpunkten und mindestens um die Länge der Basis von letzterer entfernt liegen. Man erhält dadurch eine vergrösserte Basis durch Rechnung der Genauigkeit, welche durch die doppelte Rechnung gewährleistet ist, z. B. AB gemessen, C und D von A und B eingeschnitten, ebenso A und B (wenn thunlich) noch von C und D aus. Daraus sind die vier Seiten des Vierecks $ACBD$ bekannt. CD muss dann aus $\triangle\, CAD$ und $\triangle\, CBD$ übereinstimmend gefunden werden.

Fig. 3.



2. Mikrometermessung.

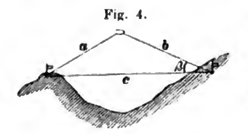
Sehr viel schneller und für viele Fälle ebenso ausreichend misst man Entfernungen mit Hülfe eines Entfernungsmessers mit Latten. Will man Winkel nicht unter 50′ benutzen, so erhält man doch immer nahe die siebzigfache Länge (tg 50′ = 69,75) der angewendeten Höhe, also mit Hülfe von 3 m langen Latten durch direkte Visur sogleich 200 m Entfernung. Der Flaggenknopf unserer gedeckten Korvetten ist ungefähr 50 m hoch über der Wasserlinie. Durch einfache Mikrometermessung lässt sich also eine Abstandsbestimmung vom Schiff von 3000 m bis 3500 m vornehmen, wozu aber erforderlich ist, die Höhe recht genau festzustellen und das Schiff auf geraden Kiel zu legen. Eine solche Basis mit dem Schiff als Endpunkt ist in sehr vielen Fällen nützlich zu verwenden. Wenn das Schiff mit kurzer Kette liegt und der Vortop anvisirt wird, ist auch der Einfluss des Schwingens vor dem Anker gering. Vorzuziehen ist aber, die Mikrometermessung so anzuwenden, dass das Schiff seinen Ankerplatz verlegen kann. Von zwei 2 bis 3 Seemeilen von einander entfernten Küstenpunkten, zwischen denen das Schiff vor Anker liegt und welche gut von einander sichtbar sind, wird die Masthöhe mittelst des Mikrometers gemessen und zugleich der Horizontalwinkel zwischen Schiff und der andern Station. Die Summe der beiden Produkte aus Entfernung vom Schiff und Cosinus des Horizontalwinkels ist die Entfernung der beiden Stationen von einander (Fig. 4)

$$a \cos \alpha + b \cos \beta = c.$$

Statt mit dem Mikrometer kann man auch mit dem Sextanten den Winkel zwischen Flaggenknopf und Wasserlinie messen, muss dabei aber

so verfahren, dass man den Winkel zu beiden Seiten vom Nullpunkt der Theilung einstellt und so den Indexfehler eliminirt. Kleinere Winkel als 50′ sind dabei zu vermeiden. Die Anwendung des Sextanten ist daher für diese Verwendung in enge Grenzen eingeschlossen. Diese vortheilhafte Methode bietet einen Beleg für die Wichtigkeit eines gut gewählten Ankerplatzes.

Fig. 4.



Für die Aufnahme kleiner Buchten oder dergl. sind Latten von 2 bis 3 m Länge, an den Enden mit einem dünnen Querholz versehen, anzufertigen. Dieselben werden entweder mit Hülfe eines am obern Querholz befestigten Senkels vertikal gehalten oder vertikal aufgehängt und zur Distanzbestimmung verwendet.*) Auf diese Weise kann nach trigonometrischer Bestimmung der Lattenpunkte der Hafen allein durch Entfernungsbestimmung ohne weitere Winkelmessung aufgenommen werden. Eine solche Latte unter den Aussenklüverbaum gehängt, kann zur Aufnahme eines kleinen Hafens mit Hülfe des Mikrometers dienen.

3. Messung durch den Schall.

Der Schall pflanzt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort. Diese Geschwindigkeit ist unabhängig vom Luftdruck, wächst mit der Temperatur und dem Dunstdruck. Die Geschwindigkeit V in der Sekunde ist nach folgender Formel zu bestimmen, in welcher t die mittlere Temperatur in Graden, f den Dunstkreis bezeichnet.

$$V = 341{,}3\text{ m} + 0{,}606\,(t - 15) + 0.085\,f.$$

In dieser Formel ist das dritte Glied für unsern Zweck stets zu vernachlässigen (f ist bei $+30°$ höchstens 31,5 mm und bei sinkender Temperatur stets geringer).

Mit dem Winde pflanzt sich der Schall schneller, gegen den Wind langsamer fort, eine genaue Messung der Windgeschwindigkeit ist aber nicht anzustellen, daher ist die Methode nur bei stillem Wetter angängig.

In der Praxis kann aber nur auf ein befriedigendes Resultat gerechnet werden, wenn an beiden Endpunkten der Basis ein Geschütz abgefeuert werden kann und die Beobachtungen mehrere Male hinter einander an beiden Endpunkten ausgeführt werden. Deshalb ist diese Art der Basismessung dort mit Vortheil angewendet worden, wo mehrere Schiffe gleich-

*) Empfohlen werden auch (Wharton, Hydrogr. Surveying) leichte Rahmen, wie Gewehrscheiben (Mannsbreite), auf welchen ein bequemes Mass (3 m) durch zwei Querstriche markirt ist (Ober- und Unteranker von Mitte zu Mitte). Diese Rahmen sollen von einem Manne horizontal gehalten werden und, um Fehler in der Normalen zu verhüten, horizontal leicht geschwenkt werden. Der Beobachter misst dann den grössten Abstand. Eine versuchsweise Anwendung wäre bei Detailaufnahmen zu empfehlen.

zeitig eine gemeinsame Vermessungsarbeit vornahmen und die Entfernung der Schiffe als Basis zu Grunde gelegt wurde. Unter solchen Umständen lässt sich ohne Weiteres die Bestimmung oft wiederholen und ein guter Werth erlangen.

Bei Vermessung einer Bank, auf welcher das verankerte Schiff das einzige Objekt ist, bietet diese Entfernungsbestimmung den Vortheil, dass man nicht nur eine Linie, sondern ein ganzes Netz von grösseren Entfernungen misst durch verankerte Boote, welche alle Blitz und Knall beobachten, während die Masthöhe für die kleinen Entfernungen gilt.

Die Basis, welche durch den Schall gemessen werden soll, darf nicht kürzer als 1½ Seemeile sein, die Länge ist nur begrenzt durch die Bedingung, dass beide Geschützpositionen von einander deutlich sichtbar bleiben. Wesentliche Bedingung für den Erfolg ist ein gutes Signalsystem zwischen beiden Stationen, so dass der Schuss stets vor dem Feuern sicher signalisirt werden kann. Ist ein solches Signalsystem vorhanden, so werden auf nicht weniger als 4 bis 6 Seemeilen befriedigende Resultate erzielt werden können. Eine gleiche Anzahl Beobachtungen von jeder Station ist aber erforderlich, um einen Mittelwerth zu erzielen. Bei der Vergleichung der an beiden Stationen beobachteten Zeitintervallen wird man den Einfluss des Windes erkennen können und grobe Beobachtungsfehler leicht aussondern.

4. Astronomische Ortsbestimmung der Endpunkte.

Diese Art der Basisbestimmung kann in einer kurzen Abhandlung nicht erledigt werden. Die an Bord angewandten Ortsbestimmungsmethoden sind für den vorliegenden Zweck in der üblichen Form nicht genügend. (Methoden der Ortsbestimmung, welche an und für sich nicht grosser Genauigkeit fähig sind, müssen selbstredend von vornherein ausgeschlossen bleiben.)

Wesentlich ist bei Beobachtungen, welche mit dem Sextanten und dem künstlichen Horizont angestellt werden, dass an beiden Endstationen der Gang der Beobachtung ganz gleichartig sei. Derselbe Beobachter muss denselben Sextanten mit demselben künstlichen Horizont unter möglichst gleichen Verhältnissen anwenden und an beiden Orten ganz gleichartige Beobachtungen anstellen.

Die Beobachtungsreihen müssen nicht gemittelt, sondern die einzelnen Beobachtungen berechnet und die Resultate gemittelt werden. Die Beobachtungen müssen ausführlich so aufgezeichnet werden, dass sie später noch sorgfältiger und erschöpfender verwerthet werden können, als dies augenblicklich erforderlich erachtet wird.

Die Frage, wie nahe die beiden Stationen an einander liegen können, beantwortet sich nach der Güte der Beobachtungen. Im Allgemeinen hält man 15 Seemeilen für die kleinste Basis, welche auf diese Weise brauchbar abzuleiten ist. Sind aber die Umstände für anderweitige Basis-

bestimmungen ungünstig und geübte Beobachter vorhanden, so werden auch noch kleinere Entfernungen mittelst dieser Methode genügend genau zu messen sein.

Für Aufnahmen, welche hauptsächlich vom Schiff aus durchgeführt werden, ohne viele Zwischenstationen am Lande — z. B. eine laufende Vermessung langgestreckter Küsten — werden die Längen- und Breitenunterschiede zweier astronomisch bestimmter Endpunkte dem Ganzen zu Grunde gelegt und die zwischenliegende Triangulation auf diese Punkte eingerichtet. Man bringt die Triangulation nach beliebigem Massstabe zu Papier und bestimmt aus dem Längen- und Breitenunterschied den Massstab und das Kartennetz hinterher.

5. Die Basisbestimmung mittelst des Patentlogs

ist für die Grundlage einer Vermessung nicht geeignet. Diese Entfernungsbestimmung hat aber den eigenartigen Vorzug, dass der Abgangspunkt für dieselbe nicht markirt bleiben muss. Wenn man von einem verankerten Boot Winkel misst, dann mit einem Patentlog (oder noch besser zwei, eins von jeder Seite des Boots), im Schlepp nach einer folgenden Station rudert, wieder ankert und Winkel misst, so hat man die angenäherte Distanz zwischen beiden Ankerplätzen; Strom darf dabei nicht vorhanden sein. Die Methode ist für eine Rekognoscirungsaufnahme von Wichtigkeit. Sie kann Anwendung finden, wenn z. B. ein Boot den Auftrag erhält, über Stellen der Küste ohne Landung Erkundigungen einzuziehen, oder einen Meeresarm, der für das Schiff nicht zugänglich ist, ohne Zeitverlust lose zu skizziren.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass Entfernungen auf sehr verschiedene Weise gemessen werden können, dass aber keine Methode als schnell und zuverlässig empfohlen werden kann, um, gemäss dem vorangestellten Princip der langen Grundlinie, einer Aufnahme als alleinige befriedigende Grundlage zu dienen. Vielmehr ist es erforderlich, mehrere kleine Grundlinien zu messen und dieselben durch Triangulation zu verbinden, beziehungsweise eine grosse Basis in günstigster Lage aus den gemessenen herzuleiten. Wo es ausführbar ist, wird die Längenmessung (durch Mikrometer oder Sextant) einer fortlaufenden Kette von Dreiecksseiten mit Vortheil angewendet. Diese Methode ist analog der in der Feldmesskunde als „polygonale Zugmessung" bekannten.

Zugmessung.

Man will die Basis AB feststellen aus einer Reihe Mikrometermessungen am Strande entlang zwischen A, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5.... Man hat B von A aus anvisirt, die Winkel zwischen den Richtungen an jedem Punkt mit dem kleinen Theodoliten gemessen. Die Entfernungen a, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5.... sind mit dem Mikrometer bestimmt.

Die Lösung dieser Aufgabe wird mit Hülfe der Fig. 5 anschaulich.

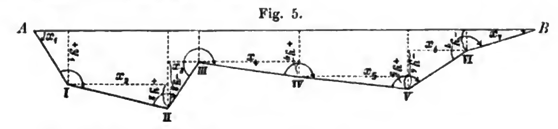
Es ist

$$AB = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$$
$$0 = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5$$
$$\alpha_2 = \alpha_1 + A_2 \pm 180^\circ$$
$$\alpha_3 = \alpha_2 + A_3 \pm 180^\circ$$
$$\alpha_4 = \alpha_3 + A_4 \pm 180^\circ \quad \text{u. s. f.}$$
$$x_1 = a \cos\alpha \qquad y_1 = a_1 \sin\alpha_1$$
$$x_2 = a_1 \cos\alpha_1 \qquad y_2 = a_2 \sin\alpha_2$$
$$x_3 = a_2 \cos\alpha_2 \quad \text{u. s. f.} \qquad y_3 = a_3 \sin\alpha_3 \quad \text{u. s. f.}$$

Die Berechnung von y ist lediglich eine Probe und kann auch weggelassen werden.

Ist der Winkel bei B ebenfalls gemessen, so ist die Summe der Winkel des nunmehr vollständigen Polygons ein Vielfaches von 180°. Das Verfahren bietet also den Vorzug mehrfacher Kontrole und kann mit Vortheil angewendet werden. Die Kette gemessener Distanzen bietet überdies der topographischen Ausführung werthvolle Stützpunkte, während für den Fortgang der Vermessung und den Entwurf der Karte die Basis AB die eigentliche Grundlage giebt (Fig. 5).

Fig. 5.



Für die Berechnung ist zu beobachten: *)

1. Alle Winkel müssen in ein und demselben Sinne gemessen werden, ohne Rücksicht, ob sie kleiner oder grösser als 180° werden, und zwar im Sinne der auf dem Horizontalkreise des Instruments fortlaufenden Theilung.

2. Die Summe der Winkel eines Polygons ist ein Vielfaches von 180° und zwar für ein solches, in welchem sich die Seiten nicht schneiden bei n Ecken $\Sigma = (n \pm 2)\,180^\circ$. Die Winkel (A_n) sind hiernach auszugleichen.

In das Schema des nachfolgenden Beispiels sind zuerst alle gegebenen Stücke (in dem Beispiel mit schrägen Ziffern gedruckt) einzuschreiben, sodann die Neigungswinkel α zu berechnen:

$$\alpha + A_1 \pm 180 = \alpha_1$$
$$59^\circ\,16'\,45'' + 132^\circ\,57'\,35'' - 180^\circ = 12^\circ\,14'\,20''$$
$$12^\circ\,14'\,20'' + 113^\circ\,14'\,43'' + 180^\circ = 305^\circ\,29'\,23''$$
u. s. f.

Die weitere Rechnung ergiebt sich aus dem folgenden Beispiel, in welchem die Beobachtungsdaten durch schräge Schrift gekennzeichnet sind. Die Figur 5 entspricht diesem Beispiel.

*) Ausführliches über diese und ähnliche Rechnungen enthält namentlich Jordan's „Handbuch der Vermessungskunde", aus welchem auch das Rechnungsschema entlehnt ist.

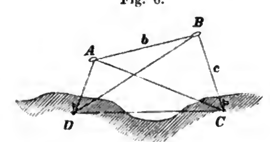
Beispiel für die Berechnung eines Polygonzuges.

Poly-gon-punkte	Polygonwinkel (A_n) gemessener			verbesserter			Neigung der Seite zur Basis (α_n)			gemessene Polygonseite (a_n)		log a log cos α	log x	x	log a × log sin α	log y	y	
	°	′	″	°	′	″	°	′	″	Bezeich.	m			m			+ m	− m
A	*59*	*16*	*55*	59	16	45	59	16	45	A—I	*121,7*	2,08529 9,70830	1,79359	62,17	2,08529 9,93433	2,01962	—	104,62
I	*132*	*57*	*45*	132	57	35	12	14	20	I—II	*203,6*	3,30878 2,99002	2,29880	198,97	2,30878 9,32631	1,63509	—	43,16
II	*113*	*14*	*53*	113	14	43	305	29	3	II—III	*107,1*	2,02979 9,76379	1,79358	62,17	2,02979 9,91077	1,94056	87,21	—
III	*243*	*5*	*21*	243	5	11	8	34	14	III—IV	*200,2*	2,30146 9,99512	2,29658	198,06	2,30146 9,17327	1,47473	—	29,83
IV	*177*	*0*	*10*	177	0	0	5	34	14	IV—V	*215,4*	2,33325 9,99794	2,33119	214,39	2,33325 8,98709	1,32034	—	20,91
V	*140*	*55*	*45*	140	55	35	326	29	49	V—IV	*136,8*	2,13609 9,92109	2,05718	114,07	2,13609 9,74192	1,87801	75,51	—
VI	*198*	*11*	*42*	198	11	32	344	41	21	VI—B	*135,7*	2,13258 9,98430	2,11688	130,88	2,13258 9,42170	1,55428	35,82	—
B	*15*	*18*	*49*	15	18	39	0	0	0									
Summa	1080°	1	20	1080	0	0							Länge der Basis = 980.71 m				+ 198,54	— 198,52

Uebertragung einer Basis.

Man hat die Basis zwischen zwei Fahrzeugen A und B durch den Schall gemessen und will dieselbe auf zwei Stationen C und D an Land übertragen, damit die Fahrzeuge selbst ihren Ankerplatz verlassen können.

Fig. 6.

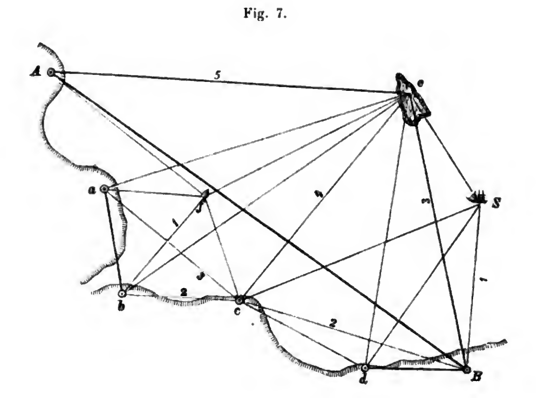


Am zuverlässigsten geschieht diese Uebertragung, indem man Beobachter nach C und D sendet und in A, B, C, D Winkel misst. Man hat dann in allen Dreiecken die drei Winkel gemessen und berechnet die Seiten $A\,C$ und $D\,B$, daraus $D\,C$ doppelt, wodurch jeder Irrthum vermieden wird. Aber auch wenn die Punkte D und C nicht zugänglich und nicht von einander sichtbar sind, ist die Basis auf $D\,C$ zu übertragen. Man findet aus den an Bord gemessenen Winkeln und der Seite b die Seiten $B\,C$ und $A\,D$ und die beiden Diagonalen, und kann $D\,C$ zweimal als die gegenüberliegende Seite zu einem von zwei bekannten Seiten eingeschlossenen Winkel bestimmen.

Berechnung der langen Grundlinie.

Ist die Triangulation mit einzelnen Basismessungen durchgeführt, so kann nun mit Hülfe der gemessenen Dreiecksseiten die Linie berechnet werden, welche der Karte zur Grundlage dienen soll.

Fig. 7.

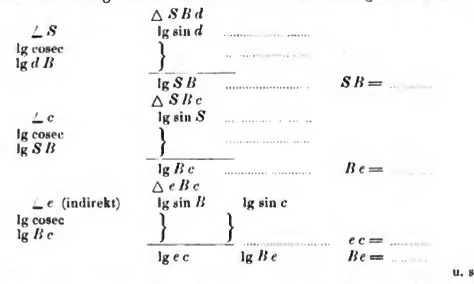


Es soll z. B. in der Fig. 7 die Linie *A B* der Vermessung zu Grunde gelegt werden. Die Theodolitenstationen *A a b c d B* sind besetzt worden; von dem Schiffe in *S* und der ausgelegten Tonne *f* sind Sextantenwinkel gemessen; *e* ist ein unzugänglicher Felsen. Durch direkte Messung sind *a b* und *d B* gemessen.

Dann würde man rechnen:

1. Aus △ *S B d* Seite *S B*
   △ *S B c* — *B c*
   △ *e B c* — *B e* und *c e*
2. Aus △ *a b f* Seite *b f*
   △ *b f c* — *b c*
   △ *a b c* — *a c*
   △ *e a c* — Seite *c e*
   △ *c e A* Seite *A e*
3. Aus △ *A B e* Seite *A B* von *A e*
   „ *A B* von *B e*

Das Rechnungsschema für diese Seitenberechnungen stellt sich so:



Man hat nun alle diese Dreiecksseiten nur mit der Verjüngungskonstante des für die Kartenskizze gewählten Massstabes zu multipliciren, um für eine zuverlässige Eintragung der Triangulirung als Grundlage der Karte reichliches Material zu gewinnen. Die Seiten AB, Ae, Be geben die Basis für die weiterzuführende Vermessung, während zwischen e und der Küste die Detailaufnahme und die Auslothung ausgeführt wird.

Der Werth der langen Grundlinie, welche vom theoretischen Standpunkte vielleicht entbehrlich erscheint, wird in der Praxis sofort zur Geltung kommen. Gewicht muss auf ein direktes gegenseitiges Anvisiren von A und B gelegt werden und auf die Bestimmung der Richtung des Meridians in diesen beiden Punkten. Dadurch wird eine Kontrole für die ganze Triangulation erzielt, auf welche, wenn sie erreichbar ist, nicht verzichtet werden darf.

VI. Azimut der langen Grundlinie. Konvergenz der Meridiane.

Die verschiedenen Methoden, das Azimut einer Linie zu bestimmen, sind aus den früheren Abschnitten bekannt. Für die Vermessung ist die Azimutbestimmung (wie auch die gleichzeitige Beobachtung der magnetischen Deklination) an mehreren Orten des aufzunehmenden Gebietes wichtig. Besonders erwünscht sind als solche Punkte die Endpunkte der langen Grundlinie. Von sehr nahen Stationen lässt sich das Azimut direkt durch Zulegen oder Abziehen zwischenliegender Winkel auf diese Endpunkte übertragen. — Die lange Grundlinie ist ein grösster Kreisbogen der Erdkugel, der Winkel mit dem Meridian ist daher in beiden Endpunkten nicht übereinstimmend. Die Differenz beider beobachteten Azimute, verglichen mit der berechneten, giebt eine werthvolle Probe ab für die Beobachtungen.

Diese Differenz, hervorgerufen durch die **Konvergenz der Meridiane**, berechnet sich für alle hier in Betracht kommenden Fälle sehr bequem aus der Näherungsformel

$$\alpha - \alpha_1 = \lambda \sin \frac{\varphi + \varphi_1}{2}\ ^{*)}$$

wo λ den Längenunterschied, φ, φ_1 die Breiten, α, α_1 die Azimute bezeichnen.

Man findet z. B.:

$$\text{für } \frac{\varphi + \varphi_1}{2} = 30^\circ \text{ und } \lambda = 6'$$

$$\alpha - \alpha_1 = 360'' \sin 30^\circ = 3'\,0''$$

$$\text{für } \frac{\varphi + \varphi_1}{2} = 60^\circ \text{ und } \lambda = 12'$$

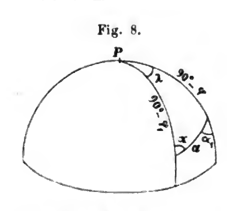
$$\alpha - \alpha_1 = 720'' \sin 60^\circ = 10'\,24''$$

Aus dieser Differenz der Azimute an beiden Endstationen ist auch sogleich für den Entwurf der Karte ersichtlich, ob die Meridiane als parallele Linien eingezeichnet werden können oder ob die Konvergenz derselben auf der Karte berücksichtigt werden muss. Jedenfalls aber ist die lange Grundlinie gegen den mittleren Meridian der Karte (welcher dem Kartenrande parallel läuft) mit dem **mittleren Azimut** $\alpha + \frac{\alpha - \alpha_1}{2}$ einzutragen. Die Länge dieser Grundlinie ist an der Linie selbst und das beobachtete (oder übertragene) Azimut an jedem Endpunkt auf der Arbeitskarte zu notiren.**)

VII. Zusammenstellung der Triangulation. Entwurf der Karte.

Das Ergebniss der Triangulation der einzelnen Basismessungen und der Azimutbeobachtungen ist in einer Tabelle nach folgendem Schema übersichtlich zusammenzustellen.

Fig. 8.



*) Es ist $\cos\frac{\alpha}{2} \sin\frac{\alpha - \alpha_1}{2} = \sin\frac{\lambda}{2} \sin\frac{\varphi + \varphi_1}{2}$

$$\cos\frac{\alpha}{2} \cos\frac{\alpha - \alpha_1}{2} = \cos\frac{\lambda}{2} \cos\frac{\varphi + \varphi_1}{2}$$

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha - \alpha_1}{2} = \operatorname{tg}\frac{\lambda}{2} \frac{\sin\frac{\varphi + \varphi_1}{2}}{\cos\frac{\varphi + \varphi_1}{2}}$$

woraus für kleinere Entfernungen:

$$\alpha - \alpha_1 = \lambda \sin\frac{\varphi + \varphi_1}{2}.$$

**) Die lange Grundlinie mit ihren beiden Azimuten ist durch rothe Schrift hervorzuheben.

Nummer des Dreiecks	Station (Ortsbezeichnung)	∠	Winkel (ausgeglichen)	Seite gegenüber dem nebenstehenden Winkel m		Azimut der nebenstehenden Seite (sofern beobachtet)	Bemerkungen
1	Felsen-Berg	Th.	68° 9′ 30″	1506,3	B.		Th. = Theodolit
	Weisses Kreuz	S.	64° 26′ 0″	1463,9	G.[1]		S. = Sextant
	Rothe Klippe	B.	47° 24′ 30″	1161,0	B.		B. = Berechnet G. = Gemessen
2	Flaggenstange		68° 24′ 30″	1463,9	G.		[1]) Mit Leine
	Felsenberg		53° 46′ 0″	1269,9	B.		[2]) Mikrometer
	Rothe Klippe		57° 49′ 30″	1332,6	B.[2])	S 17°15′10″ W[3])	[3]) Sonne von Station Flaggenstange

Die Eintragung der berechneten Seitenlängen und der beobachteten Dreieckswinkel kann nun ohne Weiteres von statten gehen. Ein Kartennetz ist erst nachträglich zu entwerfen, wenn ein solches für die an Bord zu fertigende Karte überhaupt nothwendig erscheint. Zu beachten ist, dass die so ausgeführte Eintragung keine Karte nach Merkators Projektion, sondern, da alle grössten Kreisbogen als gerade Linien eingezeichnet werden, eine sphärische (gnomonische) Karte ergiebt. Der Massstab der Karte ist bei dieser Art des Entwurfs so zu wählen, wie er bei den vorhandenen Zeicheninstrumenten und Massstäben am bequemsten erscheint. Ein zu grosser Massstab ist zu vermeiden. Ein Kartenblatt im Massstabe 1 : 25 000 ist für eine Arbeitskarte angemessen, welche ein Gebiet umfassen soll (wie es hier im Allgemeinen gedacht ist) von 10, höchstens 15 bis 20 Seemeilen im Quadrat. Auf den Meterlinealen, welche in der Kaiserlichen Marine üblich sind, ist ein solcher Massstab aufgetragen. Um aber der Karte eine nicht zu grosse und nicht zu kleine Ausdehnung zu geben, sollte man sich nicht an diesen Massstab durchaus halten, sondern, wenn es bequemer erscheint, einen beliebigen Millimeterabstand pro Kilometer der Eintragung zu Grunde legen.

Um die Länge und Breite von einem Punkte der Karte, an welchem die Ortsbestimmungen vorgenommen werden (dem Observatorium), auf einen andern zu übertragen, bedient man sich der Näherungsformeln:

1. für den Längenunterschied λ in Sekunden

$$\lambda = \frac{a''}{\cos\frac{\varphi+\varphi_1}{2}} \cdot \sin\frac{\alpha+\alpha_1}{2};$$

2. für den Breitenunterschied $\varphi - \varphi_1$ in Sekunden

$$\varphi - \varphi_1 = a'' \cos\frac{\alpha+\alpha_1}{2}.$$

Für den Gebrauch dieser Formeln muss die Dreiecksseite a statt in Metern in Bogensekunden ausgedrückt werden, wozu die Kenntniss der Normale N der Breite erforderlich ist.*) Dann ist

$$a'' = \frac{a}{N \sin 1''}.$$

In der Tabelle I am Schluss sind die Werthe $\log \frac{1}{N \sin 1''}$ von Grad zu Grad auf sechs Decimalstellen gegeben.

Wenn der Karte eine astronomisch bestimmte Basis zu Grunde gelegt oder der Massstab einer Karte ohne Netz festgestellt werden soll, auf welcher zwei entfernte Punkte mit Länge und Breite angegeben sind, so wird es nöthig, die Aufgabe zu lösen:

3. Den Abstand zwischen zwei astronomisch bestimmten Punkten in Metern zu finden.

Die Lösung ist einfach nach den bekannten Formeln der Navigation:

$$\text{tg Kurs} = \text{Längendifferenz} \, \frac{\text{cos Mittelbreite}}{\text{Breitenunterschied}}$$

$$\text{Distanz} = \text{Breitenunterschied sec Kurs}$$

oder mit den oben eingeführten Zeichen:

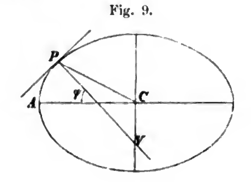
$$\operatorname{tg} \frac{\alpha + \alpha_1}{2} = \lambda \frac{\cos \frac{\varphi + \varphi_1}{2}}{\varphi - \varphi_1} \quad (\lambda \text{ und } \varphi - \varphi_1 \text{ in Sekunden})$$

$$a'' = (\varphi - \varphi_1) \sec \frac{\alpha + \alpha_1}{2} \quad \text{(in Bogensekunden)}$$

$$a = a'' N \sin 1'' = \text{Entfernung in Metern.}$$

Diese einfachen Näherungsformeln, welche in Werken über Vermessungskunde nicht immer gegeben sind, da sie für regelrechte geodätische Arbeiten nicht gebraucht werden, reichen für alle Zwecke hin, welche hier in Betracht kommen, und sind so bequem anzuwenden, dass Uebertragungen von einer Karte in die andere und Aenderungen des Massstabes mit Hülfe dieser Verwandlungen leicht ausgeführt werden können. Die Eintragung in eine Merkatorkarte geschieht ebenfalls, indem man die Länge und Breite der Hauptstationen berechnet und absetzt.

Fig. 9.



*) PV = Normale (N)

$$N = \frac{CA}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$e = 0{,}0817.$

Aufnahme der Küstenlinie durch Messung von Depressionswinkeln.

An dieser Stelle ist die Erwähnung einer Methode einzuschalten, welche sowohl bei der Rekognoscirung, als auch bei der Entfernungsmessung hätte Platz finden können, nämlich die Aufnahme einer Küstenlinie durch Abstandsbestimmung einer Reihe von Punkten mit Hülfe von Zenithdistanzen.

Um diese Methode in Anwendung zu bringen, ist ein kleines Universal-Instrument erforderlich, welches an einer Station mit freier Aussicht auf die Küstenlinie in genau bekannter Höhe über dem Meeresspiegel aufgestellt ist.

Man misst nun das Azimut und die Zenithdistanz einer fortlaufenden Reihe von Küstenpunkten.*) Der Winkel am Höhenkreise muss mit aller Genauigkeit beobachtet werden, welche das Instrument zulässt, d. h. man bestimmt sorgfältig vor und nach der Beobachtungsreihe den Zenithpunkt und notirt neben jeder Beobachtung den Stand des Niveaus (s. Universal-Instrument S. 380). Die Berechnung der Entfernung, deren absolute Genauigkeit auf der hier als Basis anzusehenden Höhe der Fernrohraxe über dem Meere beruht, geschieht mit Hülfe der Tabelle 2 nach der Formel:

$$a = \sqrt{\frac{h\,r}{1-k}}\; A\; B,$$

worin h die Höhe des Instruments über dem Meeresspiegel, r den Krümmungsradius der Erdoberfläche, k die Konstante der Refraktion und A und B die Tafelwerthe bezeichnen. Es ist $A = \sqrt{\frac{h\,(1-k)}{r}}$ ctg δ (worin δ = Zenithdistanz — 90°) zugleich das Argument, mit welchem B aus der Hülfstafel entnommen wird. Um a für jeden Punkt aus dem Depressionswinkel δ berechnen zu können, müssen also zunächst die Konstanten $\sqrt{\frac{h\,r}{1-k}}$ und $\sqrt{\frac{h}{r}(1-k)}$ für die Beobachtungsstation ermittelt werden. Für kleine Entfernungen und mässige Genauigkeit kann man konstant setzen:

$$\lg \sqrt{\frac{r}{1-k}} = 3{,}43231 \text{ und } \lg \sqrt{\frac{1-k}{r}} = 6{,}56769$$

(entsprechend den Werthen auf S. 428).**)

*) Eine Skizze der Uferlinie, wie sie vom Berge aus erscheint, ist stets zu entwerfen. In diesen Skizzen sind die eingestellten Punkte mit denselben fortlaufenden Nummern wie die Winkel im Beobachtungsbuch einzutragen.

**) Für weitere Ausnutzung dieser Methode ist r und k nicht mehr als konstant zu betrachten. Hierüber, sowie über Herleitung der Formel und Untersuchung der zu erwartenden Genauigkeit des Resultats wird auf den ausführlichen Aufsatz „Küstenaufnahmen mittelst Depressionswinkeln“ von Prof. C. Börgen (Annalen der Hydrographie pro 1882) verwiesen, welcher Aufsatz zu Rathe gezogen werden muss, falls diese Methode selbständige Anwendung finden soll.

Beispiel.

Von einem Punkt, dessen Höhe zu 109,3 m ermittelt worden war, wurden Depressionswinkel gemessen und unter Anderen gefunden:

	I	II
Azimut	123° 9′	306° 8′
Depression	3° 36′ 8,4″	1° 6′ 20,3″

Um die Konstanten zu bestimmen, hat man

$$\lg \sqrt{h} = 1{,}01981$$

woraus

$$\lg \sqrt{\frac{h\,r}{1-k}} = 4{,}45162 \text{ und } \lg \sqrt{\frac{h\,(1-k)}{r}} = 7{,}58700$$

	I	II
$\lg \operatorname{ctg} \delta$	1,20096	1,71446
$\lg \sqrt{\frac{h\,(1-k)}{r}}$	7,58700	7,58700
$\lg A$	8,78790	9,30146
$\lg B$	0,001 *)	0,0090
$\lg \sqrt{\frac{h\,r}{1-k}}$	4,452	4,4516
$\lg a$	3,241	3,7621
a	1742 m	5782 m

VIII. Küstenumrisse. Topographie.

Im Vorhergehenden ist die Vermessung bis zum Eintragen der Triangulation in die Arbeitskarte zu Ende geführt und damit die Grundlage für die weiteren Operationen gewonnen. Die strenge Scheidung der Triangulationsarbeit von der Aufnahme der Küstenumrisse und den topographischen Aufnahmen existirt in Wirklichkeit nur für die Eintragung in die Karte. Auf allen Theodolitstationen sind die „Winkel zweiter Ordnung“ schon gleichzeitig bei der Bestimmung der Dreieckswinkel gemessen worden. Sobald sich bei der Triangulirung ergeben hat, dass die Vorarbeiten sich bewähren, beginnt die weitere topographische Aufnahme durch besondere Beobachter neben der trigonometrischen.

Es werden nun Punkte festgelegt, auf welche sich nur Strandlinien und Lothungslinien sowie Höhenbestimmungen stützen sollen. Dieselben brauchen weniger scharf markirt zu sein, können durch spitzere Winkel eingeschnitten oder auch — dann aber durch mehr als zwei Winkel — mittelst des Pothenotschen Problems festgelegt werden.

Solche Stationen können stets nachträglich, sobald sie nöthig werden, hinzukommen, z. B. für Untiefen, welche bei den Lothungen entdeckt werden.

Das Bestimmen der Küstenumrisse geschieht in erster Linie

*) Wenn $\lg B$ kleiner wird als 0,001, ist die Rechnung auf mehr als drei Decimalstellen überflüssig.

durch Tangentenvisuren von den Hauptstationen aus. Eine anschauliche Skizze zeigt Tafel XXX, Fig. 1 und macht eine weitere Erklärung entbehrlich.

Bei diesen und den folgenden Winkelmessungen ist eine Skizze in rohen Umrissen für die Orientirung unerlässlich. Eine solche Skizze wird in das Notizbuch neben den gemessenen Winkeln eingetragen, nachdem die Rundmessung vollendet ist. Man schreibt die Winkel neben die eingeschnittenen Objekte nochmals hin, so dass es ziemlich wenig ausmacht, ob die Skizze wohlgelungen ist oder nicht. Die zweite, neben der Tangentenmethode vorzunehmende Art der Detailaufnahme geschieht durch einen am Strande entlang fortschreitenden Beobachter. Derselbe ist mit einer Skizze des Triangulations- und Tangentennetzes für das ihm zugewiesene Gebiet zu versehen, ausserdem hat er einen (Boots-) Kompass mit Stativ und Diopter (oder noch besser einen kleinen Theodoliten) und ein Reflexions-Instrument oder einen Distanzmesser (Mikrometer) mit Latte.

Die Aufnahme des Strandes geschieht, so lange irgend angängig, durch Zugmessung, d. h. durch ununterbrochen aufeinander folgende Abstandsbestimmungen, und Messung der Horizontalwinkel zwischen diesen gemessenen Linien. Die Endpunkte der Linien werden mit fortlaufenden Ziffern bezeichnet. Da keine grosse Genauigkeit erforderlich ist — die Aufnahme wird durch jeden eingeschnittenen Punkt kontrolirt — so genügt für die Winkel ein Kompass, für die Entfernungen schon ein Abschreiten. Da letzteres indessen günstiges Terrain zur Voraussetzung hat, so ist eine Leine und, da deren Benutzung sehr zeitraubend ist, ein Mikrometer oder ein Sextant mit Distanzlatte vorzuziehen.

Bei Aufnahme einer beschränkten Bucht kann die Mikrometermessung nach einem verankerten Boot mit aufgesetztem Mast hin, oder die Messung der Masthöhen des Schiffes im Zusammenhang mit Kompasspeilungen zum Ziel führen. Beschreibende Bemerkungen und Skizzen sind bei jedem Zuge in das Notizbuch einzutragen. Noch besser aber ist es, den betr. Abschnitt der Triangulation auf dem Reissbrett vor sich zu haben und die fortschreitende Festlegung der Küstenumrisse sofort auf demselben abzusetzen. Anhöhen in der Nähe der Küste sind, wenn es die Zeit gestattet, zu besteigen und als Stationen niederer Ordnung durch Winkelmessung festzulegen, namentlich aber auch ihre Höhe durch Winkelmessung zwischen Horizont und vorliegenden bekannten Punkten zu bestimmen. Ausserdem ist ein solcher Höhenpunkt für die Küstenbeschreibung und Detaileinzeichnung stets werthvoll.

Ist die Küste nicht zugänglich, so wird eine ähnliche Zugmessung vom Boot aus mittelst des Logs und durch Winkelmessung vorgenommen. Im Boot ist der Kompass nicht zum Winkelmessen zu benutzen. Das Ende einer jeden Linie wird vom verankerten Boot aus durch Winkelmessung festgelegt. Das Log kann bei kleinen Entfernungen hierbei in der Art

Fig 2

Eintragung von Höhenkonturen nach einer Küstenansicht.

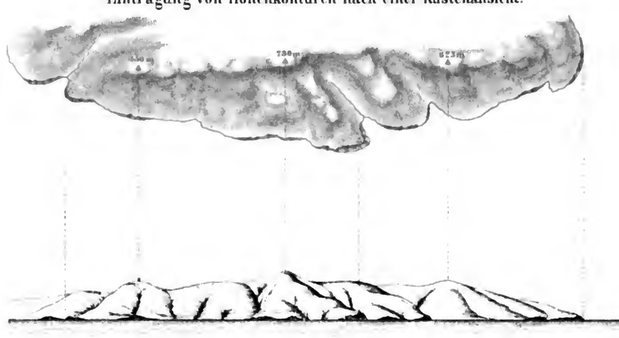
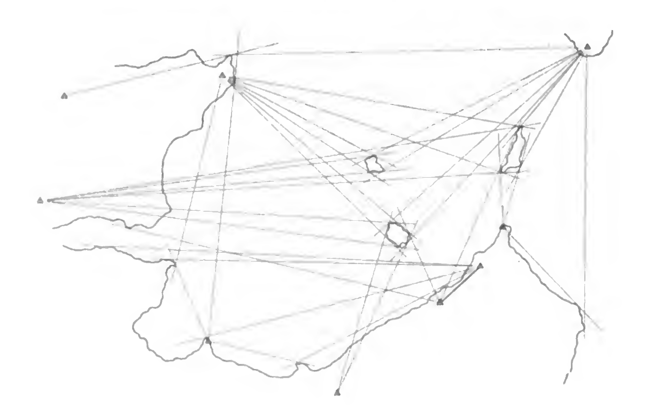


Fig. 1

Bestimmung der Küstenlinie mit Hülfe von Tangenten.



Seite 426.

gebraucht werden, dass man nicht die Zeit dabei beobachtet, sondern durch die ausgelaufene Meterzahl die Länge der Linie bestimmt. Für grosse Abstände bedient man sich zweckmässig des Patentlogs.

Man kann annehmen, dass in den Fällen, in welchen eine Messung am Strande entlang nicht möglich ist, das Boot sich um so näher am Lande entlang bewegen kann. Trifft beides nicht zu (z. B. an einer felsigen Küste mit Brandung), so ist auch der genaue Verlauf der Küste von weniger Interesse und kann von Punkt zu Punkt skizzirt werden.

Bei diesem Theil der Aufnahme ist auf Ebbe und Fluth Rücksicht zu nehmen. Die Küstenkonturen müssen den Verlauf der Hochwasserlinie darstellen, welche sich von See aus am besten erkennen lässt. Die Strandlinie für Niedrigwasser wird möglichst berücksichtigt, aber erst nach Reducirung der Lothungen endgültig für die Karte festgestellt, da sonst nachträglich bedeutende Abweichungen zwischen den Ergebnissen der Lothungen und der Landaufnahme hervortreten können.

Hiernach ist auch bei dem Einschneiden der Tangenten die Hochwasserlinie, soweit sich das thun lässt, zu berücksichtigen.

Die Topographie des Landes ist von verhältnissmässig geringerer Wichtigkeit, sie sollte aber nicht ganz vernachlässigt werden. Jeder, welcher eine Seekarte gebraucht, weiss, wie angenehm und nützlich eine Ausführlichkeit in der Küstenbeschreibung durch Zeichen oder auch beschreibenden Text ist. Die Umrisse der Erhebungen und ihre Höhe über dem Meere, auch in weiterem Abstande von der Küste, sind von besonderem Werth. Alle von See aus sichtbaren Gebäude, Bäume, Felsen müssen, soweit es der gewählte Massstab erlaubt, ihrer Lage nach kenntlich gemacht werden. Die an Bord befindlichen Seekarten ähnlicher Gegenden wie die zu vermessenden müssen verglichen und als Muster genommen werden. Man wird finden, dass auf denselben Landungs- und Wasserplätze, Landmarken, Brandung und vieles Andere nicht nur durch Zeichen, sondern auch durch erklärende Bermerkungen hervorgehoben ist. Flüsse und Bäche werden in der Regel so weit aufwärts vermessen, als die Fluth in ihnen hinaufsteigt.

Höhen.

Die Höhen, welche, wie die Lothungen im Allgemeinen, auf Niedrigwasser Springzeit bezogen werden, sind barometrisch oder trigonometrisch zu bestimmen. Die letztere Methode wird die ausgiebigere Benutzung finden, sobald man über einen Höhenkreis verfügt. Man misst die Zenithdistanzen der Bergspitzen, deren Lage von verschiedenen Orten aus ihrer Richtung und Entfernung nach bestimmt ist, nach den für das Universal-Instrument § 158 gegebenen Regeln.

Bei Entfernungen unter 1500 m genügt die Berechnung der Höhe h aus dem rechtwinkligen Dreieck, also $h = a \,.\, \operatorname{ctg} z$, wenn a die Entfernung und z die Zenithdistanz bezeichnet. Bei grösseren Entfernungen ist eine

Korrektion für Erdkrümmung und Refraktion anzubringen, so dass dann die Formel lautet:

$$h + a \operatorname{ctg} z = \frac{a^2}{2r} - \frac{a^2 k}{2r}$$

Für nautische Vermessungen ist der Erdradius stets zu setzen

$$r = 6370000 \text{ m}$$

und die Refraktionskonstante

$$k = 0{,}13,$$

so dass man erhält

$$h = a \operatorname{ctg} z + 0.0000000682\, a^2.$$

Bei $a = 2000$ m beträgt die Korrektion 0,27 m und wächst von da ab schnell. Ist eine grössere Zahl von Höhen zu reduciren, so berechnet man sich eine Tafel für diese Korrektion. Es ist dazu

$$\lg \frac{1-k}{2r} = 2{,}8340-10$$

zu einer Reihe von $\log a^2$ zu addiren.

Die gemessenen Höhen werden in Tabellen übersichtlich zusammengestellt z. B.

Station	Höhe des Auges	Objekt	Höhenwinkel (90° — z) gemessen	Ent-fernung m	Höhe über dem Auge m	Höhe über Niedrig-Wasser m
Sandinsel	2,3 m	Rothe Bake	3° 4' 38,0"	2132,3	114,9	117,2
Tonne III	1,7 m	Bluff	2° 45' 30" *)	756	36,4	38,1
		Kreuzberg	5° 51' 12,5"	938	96,2	97,9
Rothe Bake	118,34 m	Krater	8° 12' 45,0"	2314,5	334,5	452,84

*) Sextantenwinkel.

Die beobachteten Höhen einzelner trigonometrisch festgelegter Punkte genügen noch nicht, um danach Höhenkurven in die Karte einzutragen. Wesentlich gefördert wird eine Vervollständigung dieses Theils der Aufnahme, wenn Ansichten der Berggruppen von verschiedenen Küsten- oder Ankerstationen nach bestimmtem Horizontal- und Höhenmassstab (vergl. darüber Vertonungen S. 429) entworfen und der Kartenskizze als Material für den Kartographen beigefügt werden. Tafel XXX, Fig. 2 giebt ein Beispiel, wie solche Ansichten zur Skizzirung der Höhenkonturen auf der Karte verwerthet werden können. Wenn eine geeignete, des Zeichnens kundige Person zur Verfügung ist, so sollten von derselben von Station zu Station Ansichten für solche Zwecke aufgenommen werden (bei gleichzeitiger Winkelmessung), andernfalls müssen einfache Vertonungen genügen, welche auch ohne jede Fertigkeit herzustellen sind.

Ein zuweilen brauchbares Mittel zur Feststellung der Höhenkurven zwischen den Höhenpunkten bietet die Interpolation mit Hülfe des Aneroid-Barometers, ohne dass man dabei eigentliche barometrische Höhenmessungen im Auge hat. Man nimmt dabei an, dass die Höhen-

änderungen den Aenderungen des Barometerstandes umgekehrt proportional sind. Ein Beobachter mit dem Barometer, welcher von einem der Höhe nach bekannten Punkte nach dem nächst höheren oder tieferen fortschreitet, kann aus dem abgelesenen Barometerstande für jeden Zwischenpunkt seines Weges die Höhe interpoliren.

Folgendes Beispiel wird das Verfahren erläutern: *)

Beobachtungspunkt	Höhe m	Barometer mm	Differenz gegen I	$\frac{257,5}{21,8} = 11,812$	Höhe $471,4 + \Delta$
I.	471,4	725,9	0,0	Δ	
II.		719,2	6,7	$11,812 \times 6,7 = 79,1$	550,5
III.		707,0	18,9	$11,812 \times 18,9 = 223,2$	694,6
IV.	728,9	704,1	21,8		
	257,5	21,8			

Es kommt dann nur darauf an, die Zwischenpunkte angenähert festzulegen, sei es durch ein Itinerar, sei es durch Anvisiren des fortschreitenden Beobachters von anderen Stationen nach verabredeten Signalen.

Ein Beobachter, welcher von der Küste aus den Berg ersteigt, dessen Höhe trigonometrisch gemessen ist, und den Rückweg in einer andern Richtung nimmt, kann auf diese Weise zwei Profile erhalten, nach welchen schon annähernde Höhenkonturen skizzirt werden können, namentlich, wenn ausserdem noch Ansichten und Peilungen der Thäler, Abhänge etc. vorliegen.

Bei diesen und ähnlichen topographischen Eintragungen ist es nöthig, vor dem Verschönerungsstreben des Zeichners zu warnen. Auf der Kartenskizze selbst ist möglichst nur mit Worten und Zahlen anzugeben, was irgend zur späteren Ausführung dem Kartographen überlassen werden kann.

Aufnahme von Vertonungen.

Vertonungen sind im engeren Sinne nur Umrisszeichnungen der Küste vom Meere aus gesehen, welche zur Orientirung bei der Annäherung an die Küste dienen sollen. Solche Umrisszeichnungen müssen sich von der Wiedergabe unwesentlicher Details durchaus freihalten und dürfen nicht ohne Winkelmessung zu Papier gebracht werden.

Da die Vertonung bestimmt ist, den Anblick der Küste von einem in der Karte bezeichneten Orte aus wiederzugeben, so bildet sie immer eine perspektivische Skizze. Es ist daher folgerichtig, dass der Gesichtswinkel, unter welchem die horizontalen Abstände erscheinen, den Massstab des Bildes abgiebt. Beispielsweise setzt man einen Grad gleich einem Millimeter und bedient sich dann zweckmässig quadrirten Millimeterpapiers für die Ausführung.

*) Ausführliches hierüber vergl. Jordan, Handbuch der Vermessungskunde I. § 155.

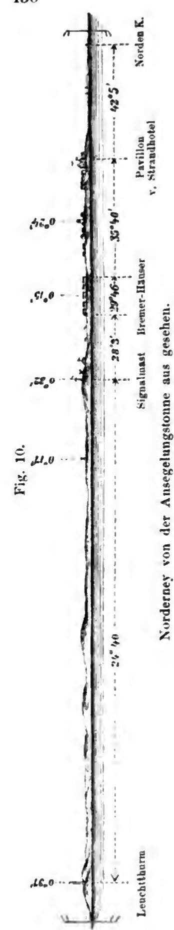


Fig. 10.

Norderney von der Ansegelungstonne aus gesehen.

1° Horizontalwinkel = 4 mm; 1° Vertikalwinkel = 6 mm.

Die Horizontalwinkel zwischen allen schärfer markirten Abschnitten werden gemessen, auf dem Papier abgesetzt und die Winkel (nachträglich auch durch Azimut bestimmte magnetische Richtungen) eingeschrieben.

Die Höhenwinkel werden meistens in grösserem, gewöhnlich 1½fachem bis doppeltem Massstab der Horizontalwinkel eingetragen (Fig. 10). Da eine gültige Vorschrift hierfür nicht besteht, so ist das Höhenverhältniss auf der Vertonung anzugeben, ferner über jedem Punkt der Vertonung, dessen Höhenwinkel wirklich gemessen ist, dieser einzuschreiben.

Unter der Vertonung muss die Entfernung und Richtung, von welcher das Hauptobjekt gesehen wurde, angegeben sein. Alle Namen für den betreffenden Küstenabschnitt der Karte müssen auch auf der Vertonung eingeschrieben werden.

Auf der Karte selbst werden die Orte, von denen solche Vertonungen genommen sind, durch einen kleinen Kreis und beigeschriebenen grossen lateinischen Buchstaben, welcher mit der Unterschrift der Vertonung übereinstimmt, markirt. Die deutschen Seekarten geben mannigfaltige Beispiele für dieses Verfahren.

IX. Lothungen.

Dieser wichtige Theil der Vermessungsarbeit lässt sich in vier verschiedene Vornahmen zerlegen, nämlich:

1. Die Manipulation des Lothens selbst.
2. Die Bestimmung des Orts für eine jede Lothung.
3. Die Reduktion der Lothungen auf einen gewissen Wasserstand.
4. Das Eintragen der Lothungen in die Karte.

Es wird im Folgenden nur das Lothen in geringen Tiefen vom Boot aus besprochen werden. Das Lothen vom Schiff aus bedarf an dieser Stelle keiner ausführlichen Erörterung. Auch das Lothen vom Boot ist in so hohem Grade

Sache der durch die örtlichen Verhältnisse bedingten Praxis, dass hier nur wenige Winke gegeben werden können. Hervorzuheben ist zunächst, dass, wenngleich das Auslothen eines Gebietes nach vorhergegangener Triangulation keine schwierige Aufgabe ist, diese Aufgabe um so zuverlässigere Beobachter verlangt, da Fehler bei der Triangulation sofort ersichtlich werden, während sie bei der Lothung unentdeckt bleiben. Jeder zum Lothen ausgesendete Offizier erhält eine Ordre, Skizze des von ihm auszulothenden Gebiets und zweckmässig die nöthigen Zeicheninstrumente, um den Ort des Bootes schon im Boot erwünschten Falls in dieser Skizze abzusetzen.

Jedes zum Lothen ausgesendete Boot erhält ausser der üblichen vollständigen Ausrüstung Material zum Kenntlichmachen von Fixpunkten am Lande — Pricken mit eisernen Spitzen und rothen Flaggen, Kalk zum Weissen — eine oder mehrere rothe Tonnen mit Ankerstein und Tau, das nöthige Lothgeschirr, wobei Talg nicht zu vergessen ist, und Instrumente zum Winkelmessen.

Die Tonnen werden zum Bezeichnen von solchen Stellen verwendet, an welchen der unregelmässigen Grundbeschaffenheit wegen die regelmässigen Lothungslinien nicht ausreichend erscheinen.

Man nimmt unter gewöhnlichen Umständen an, dass das Lothen in regelmässigen Zeitintervallen und während das Boot in Fahrt ist ausgeführt wird. Der Mann mit dem Loth ist dann vorn im Boot postirt und eine Einrichtung so getroffen, dass er mit den Knieen gegen die Bordwand sich stützen, das Loth vorauswerfen und ohne Belästigung der Riemen wieder einholen kann.

Bei grossen Tiefen muss die Fahrt durch Streichen gestoppt werden, die Lothungen finden vereinzelter statt, der Ort eines jeden Lothwurfs wird besonders festgelegt.

Positionsbestimmungen der Lothungen.

Als Regel wird festgehalten, dass Lothungslinien parallel gelegt und durch rechtwinklig oder geneigt zu diesen Parallelen gezogene Linien kontrolirt werden. Die parallelen Lothungslinien sind normal zum Strande anzuordnen, weil bei solchen die Zonen gleicher Tiefe am besten hervortreten.

Diese Regel kann bei starkem Strom nicht inne gehalten werden; es ist dann leichter, namentlich nahe der Küste, Zickzacklinien zu legen. Wenn der Kurs des lothenden Boots geändert wird, ist, wenn angängig, zu ankern und der Ort der Kursänderung zuverlässig zu bestimmen. Die Lothungslinien werden, wenn irgend möglich, durch ein Alignement bestimmt.

Bei sorgfältigen Küstenlothungen und gangbarem Strande ist es am besten, einige Leute am Strande zu haben, welche nach bestimmter Anweisung und verabredeten Signalen die Pricken für jede Linie auf-

stellen und versetzen. Jedoch setzt dies voraus, dass viel Zeit zur Verfügung steht.

Wenn die beiden Pricken aber im Verhältniss zur Entfernung des Bootes nahe aneinanderstehen, so ist dieses Alignement schwer innezuhalten, ein entferntes Okjekt, eine Bergspitze oder dergl. und ein Pricken am Strande geben ein genaueres Alignement, dafür muss dann auf das Legen regelmässiger paralleler Lothungslinien verzichtet werden. Ausser der so festgelegten Linie ist noch ein Objekt für die Winkelmessung erforderlich, welches nicht zu entfernt liegen darf und — da der Winkel immer recht gross sein soll — in kurzen Zwischenräumen durch ein anderes ersetzt werden muss.

Das ausschliessliche Festlegen der Lothungsorte durch zwei Winkel (mit Hülfe der Pothenotschen Aufgabe) ohne Alignement, obgleich das üblichste, ist vom Boote aus stets ungenau, daher nur für Lothungen ausserhalb der regelmässigen Linien anzuwenden, wenn kein anderes Mittel zur Ortsbestimmung zu Gebote steht. Wenn die drei Punkte nicht sehr günstig liegen (der mittlere Punkt am nächsten, die beiden anderen in sehr ungleicher Entfernung), so werden die Resultate unsicherer, als man glaubt, ebenso wenn, wie leicht übersehen wird, die Winkel nicht unter 25° spitz werden. Jedenfalls ist die häufig angewandte Regel: die Winkel gross genug, um sie noch an dem Transporteur einzustellen, und als das Mittelobjekt das nächste — unzureichend, um so mehr, als der Gebrauch des Transporteurs gar nicht den Grad der Unzuverlässigkeit in ähnlicher Weise bemerklich macht, wie es die Konstruktion zweier sich schneidender Kreise thut. Alignements müssen daher die Winkelmessung überall stützen und kontroliren.

Als zuverlässig und für Lothungen, die besondere Wichtigkeit haben, als vortrefflich erprobt ist die folgende Methode:

Von zwei Theodolitstationen am Lande (die eine derselben kann auch das Schiff selbst und zwar der Regelkompass desselben ersetzen) wird das lothende Boot beständig anvisirt. Bei jeder Lothung wird im Boot ein verabredetes Signal gemacht und auf dieses die Peilung bezw. der Theodolitschnitt des Bootes notirt. Um Irrungen zu vermeiden, ist es nöthig, dass alle drei Beobachter vor und nachher verglichene (auf gleiche Zeit gestellte) Uhren haben und dass jede Lothung und Peilung unter laufender Nummer mit der Uhrzeit notirt wird.

Man nimmt gewöhnlich 100 m Abstand zwischen den Lothungslinien für die Vermessung kleiner Gebiete als genügend an. Dass dabei immer noch Untiefen unbemerkt bleiben können, ist klar.

Die Kontrollinien sind daher wichtig und, wenn die Zeit es gestattet, erst nach dem Absetzen der gelotheten Linie auf dem Reissbrett abzulothen. Wo eine Untiefe gefunden wird, ist sofort eine Tonne zu verankern und deren Lage genau (durch mehr als zwei Winkel) zu bestimmen.

Um diese Boje herum ist dann sorgsam zu lothen und die Ortsbestimmung dieser Lothungen auf die Boje zu beziehen. Eine zweite Tonne oder ein in der Nähe verankertes zweites Boot wird diese Bestimmungen erleichtern. Ist der Grund sehr ungleichmässig oder liegt der Verdacht vor, dass irgendwo Untiefen vorhanden sind, so muss nach diesen mit Hülfe zweier Boote gefischt werden in ähnlicher Weise, wie nach einem verloren gegangenen Anker gesucht wird.

Eine hierher gehörige Bemerkung Belchers*) kann zuweilen nützliche Anwendung finden: Wo starker Strom, Dünung oder andere Schwierigkeiten die Untersuchung einer Durchfahrt behindern, bei welcher in Bezug auf einen speciellen Tiefgang Ungewissheit herrscht, hat es sich als praktisch erwiesen, ein jedes Boot mit einer Spier auszurüsten, von 26 Fuss oder mehr, mit einem Tiefloth an einem Ende beschwert. An dem Tiefloth (einen Fuss vom unteren Ende) sollte eine Reservelothleine befestigt und die Stange von 15 Fuss nach aufwärts gemarkt sein. Man lässt gut stromaufwärts die Spier über das Heck hinab, hält sie durch die Leine am Hintersteven auf und nieder, so dass die Marke: ein Fuss plus verlangter Tiefgang mit dem Heck abschneidet und behält die Hand an der Spier, während das Boot mit dem Bug voran langsam mit dem Strom vorwärts treibt und fortwährend gelothet wird.

Es ist klar, dass, sobald irgend ein Hinderniss (welches das Loth nicht gefunden hat) sich darbietet, die Spier aufgehalten werden muss.

Reduktion der Lothungen.

Wenn Lothungen genommen werden, so ist es nothwendig, dass währenddessen an einem benachbarten Ort fortwährend Wasserstandsbeobachtungen vorgenommen werden. Nur in seltenen Fällen — bei geringer Wassertiefe und ebenem Grunde des Ankerplatzes — reicht hierzu eine Lothleine von Bord des Schiffes aus hin. In der Regel muss eine Pegelstation an Land errichtet werden. In ausgedehnten Gebieten, namentlich, wenn das Fahrwasser auf denselben sehr verengt wird, ist es nöthig, mehrere Pegelstationen zu errichten oder die eine im Verlaufe der Arbeit zu verlegen. Jedoch wird das für die ins Auge gefassten begrenzten Vermessungen selten nöthig sein, auch ist die Beobachtung des Wasserstandes längere Zeit hindurch an ein und derselben Stelle wünschenswerth.

Die Lothungen werden der Regel nach auf die mittlere Springebbe reducirt.

Bei flüchtigen Vermessungen lässt sich jedoch dieses Niveau gewöhnlich nicht zuverlässig feststellen. Es ist daher die niedrigste beobachtete Ebbe der Arbeit zu Grunde zu legen und ein Vermerk hierüber in der Karte anzugeben. Diese Praxis bedingt eine endgültige

*) A treatise on nautical surveying by commander E. Belcher, London 1835.

Eintragung der Lothungen nicht vor dem endgültigen Abschluss der Vermessungsarbeiten. Man verfährt aber so, dass man einen bestimmten Stand des Pegels von vornherein als provisorisches Niveau für die Arbeit bestimmt und danach täglich die Lothungen reducirt. Dieselben werden dann in eine besondere Lothungsskizze eingetragen und erst später für die Karte reducirt. Es ist im Allgemeinen eine grössere Anzahl Lothungen zu nehmen, als in die Karte einzutragen sind. Bei kleinem Massstabe der Kartenskizze fügt man daher zweckmässig die Lothungsskizze in grösserem Massstabe bei.

Grundbeschaffenheit.

Nächst der Tiefe ist auch die Beschaffenheit des Grundes beim Lothen zu untersuchen, und zwar bei Lothungen in See hauptsächlich auf das Aussehen der mit dem Loth heraufkommenden Proben als Mittel zur Ortsbestimmung, bei Lothungen in geringeren Tiefen ausserdem noch in Bezug auf die Brauchbarkeit des Grundes zum Ankern.

Bei der unsicheren Bezeichnungsweise der Grundbeschaffenheit ist es wichtig, von derselben Proben in kleinen Flaschen aufzubewahren (selbstverständlich mit genauester Ortsangabe auf dem Glase versehen). Sind die Proben mit Hülfe von Talg heraufgebracht, so ist es nöthig, sie behufs Konservirung in Wasser zu erhitzen, damit das Fett sich an der Oberfläche des Wassers sammelt und entfernt werden kann. Da hierdurch das Aussehen der Proben aber sehr verändert werden kann, so ist eine Sammlung von Grundproben ohne Verunreinigung erwünscht. Eine solche kann erreicht werden durch Anbringung der für Tieflothe S. 124 beschriebenen Kammern oder Becher auch an Lothen von geringerem Gewicht (12 oder 20 kg). Neben dem eigentlichen Loth wird dann das Kammerloth hin und wieder hinabgelassen.

Zur Untersuchung von Ankergrund reicht es nicht immer hin, eine Grundprobe zu erhalten. Felsiger Grund kann mit einer Sandschicht bedeckt sein und durch die Grundprobe günstig zum Ankern erscheinen.

Für diese Untersuchung des Ankergrundes wendet man schwere Bleilothe (50 kg) an mit einem eisernen Dorn, welcher in den Grund einzudringen vermag. Der Dorn und das Loth werden mit Talg bestrichen, so dass man beim Aufholen erkennen kann, wie weit ein Eindringen der Spitze in den Grund stattgefunden hat.

Ueber die Bezeichnungsweise des Grundes findet sich auf dem vom Hydrographischen Amt veröffentlichten Karton: „Erklärung der für die Seekarten der Kaiserlichen Admiralität in Anwendung kommenden Abkürzungen und Zeichen“ alles Erforderliche.

In Bezug auf die Eintragung der Lothungen etc. in die Karte giebt diese Erklärung ebenfalls ausführlichen Anhalt.

X. Vermessungen in Bewegung.

Unter dieser Bezeichnung werden hier diejenigen Vermessungsarbeiten zusammengefasst, welche keinen festen Stützpunkt haben, sondern lediglich von Bord eines Fahrzeugs aus ausgeführt werden, welches in Bewegung ist (Running surveys im engeren Sinne).

Als Grundlage für eine solche Aufnahme bieten sich zunächst Fahrt und Kurs des Schiffes. Von einem astronomisch bestimmten Ort könnte man auf einem Kartennetz den Weg des Schiffes nach der Logrechnung absetzen, an diesen die Winkel abtragen, welche zwischen Landmarken gemessen sind, und damit durch je zwei Schnitte oder Peilungen, zu verschiedenen Zeiten genommen, ein Landobjekt festlegen.

In der That verfährt man auf diese Art zuweilen, um Aufnahmen kleiner Inseln, isolirter Felsen oder dergleichen von ganz begrenztem Umfang vorzunehmen. Zur Einzeichnung der Küstenkonturen wendet man überall die Tangenten-Methode an. Genaueste Messung der Fahrt und sorgfältiges Steuern sind Vorbedingung. Kontrole der Deviation auf jedem neuen Kurs und häufige astronomische Ortsbestimmungen müssen neben der eigentlichen Aufnahme ausgeführt werden.

Um eine solche Aufnahme erfolgreich durchzuführen, ist ein angemessener Abstand des Schiffes von der Küste, eine richtige Wahl der Kursrichtung und der Fahrtgeschwindigkeit wesentlich.

1. Um Punkte genug zur Festlegung der Küstenumrisse zu gewinnen, ist eine Entfernung von drei bis vier Seemeilen günstig. In dieser Entfernung sind Vertonungen gut aufzunehmen und zurückliegende Objekte des Landes mit in das Triangulationsnetz hineinzuziehen.

Da grössere Entfernungen für die Festlegung von Hauptpunkten, kleinere für die Bestimmung des Details vortheilhaft sind, so empfehlen sich schon nach dieser Richtung hin wechselnde Entfernungen.

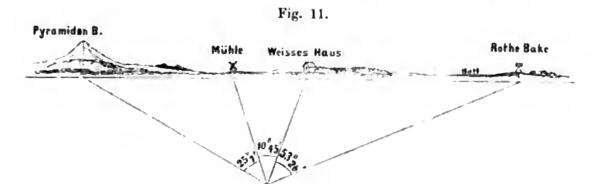
2. Diese werden ohnehin durch die Wahl der günstigsten Kursrichtung erhalten. Der Kurs muss nämlich nicht parallel der Küste, sondern im spitzen Winkel zum Verlauf derselben gewählt werden. Ein scharf markirtes Objekt, am besten eine Deckpeilung zweier Objekte, muss dem Kurse, wenn angängig, bei der Aufnahme zu Grunde gelegt sein. Wenn eine Kursänderung vorgenommen werden soll, so ist für den Ort dieser Kursänderung eine Winkelmessung aller sichtbaren Punkte vorzunehmen und der Kurs dann so zu ändern, dass hierauf der als Kursmarke gewählte Punkt oder das Alignement mit Hülfe der bereits bestimmten Punkte festgelegt werden kann.

3. Die Fahrt des Schiffes muss eine recht gleichmässige sein und 5 Sm in der Stunde nicht übersteigen. Wenn dann alle Winkelmessungen mit genauer Zeitangabe notirt werden, ebenso wie alle Kursänderungen,

so kann man an der in der Karte niedergelegten Linie des zurückgelegten Weges für jeden Winkel den Scheitelpunkt antragen.

Die grösste Sorgfalt ist auf die Identität der Objekte zu verwenden. Dieselben dürfen nicht aus den Augen gelassen werden, da sich das Aussehen der Küste fortwährend ändert. Für jede Winkelmessung ist deshalb eine ganz rohe Vertonungsskizze zu entwerfen und die Winkel zwischen den Objekten unter dieser Vertonung niederzuschreiben, z. B.:

Fig. 11.



Ausserdem ist ein des Zeichnens kundiger Beobachter, welcher nicht mit Winkelmessen beschäftigt ist, für den Entwurf fortlaufender Vertonungen zu stationiren. Derselbe trägt unter dieselben die Kompasspeilungen und die für die Winkelmessung in Anwendung gebrachten Namen ein. Diese Vertonung ist für die Ausfüllung des Details in der Karte von besonderem Werth.

Die Konstruktion der sechs Punkte.

Die Aufnahme unter Zugrundelegung des Schiffsweges ist für längere Ausdehnung des Vermessungsgebiets und bei unregelmässigen Strömungsverhältnissen sehr unvollkommen. Es ist aber ausführbar, ganz von der geloggten Fahrt abzusehen und lediglich durch Winkelmessung und astronomische Azimutbestimmung ein trigonometrisches Netz an der Küste entlang fortzuführen. Man erhält auf diese Weise die Mittel, nach beliebigem (zunächst unbekanntem) Massstabe ein ähnliches Bild der Küste zu entwerfen und durch die astronomische Ortsbestimmung zweier entfernter Stationen in diesem Netz den Massstab der Karte zu bestimmen.

Zur Lösung dieser Aufgabe sind Azimutbestimmungen und Winkelmessungen für mindestens drei Landobjekte von drei Schiffsorten aus nothwendig. Obgleich in der Praxis nur in wenigen Fällen nützliche Anwendung von diesem Verfahren zu machen ist, so ist es doch von Werth, sich über die Lösung desselben zu orientiren, um ein Urtheil über die Ausführbarkeit zu gewinnen.

Man wählt zu dem Zweck unter den sichtbaren Landobjekten von dem Ort des Schiffes aus, von welchem man die Aufnahme beginnen will, drei, welche sich besonders gut markiren und im Verlauf der Fahrt voraussichtlich länger sichtbar bleiben, und bestimmt das Azimut derselben

durch Winkelmessung. Dasselbe wiederholt man auf zwei folgenden Punkten (Hauptstationen) des Schiffsweges für die nämlichen Landobjekte. Aus den gemessenen Winkeln ist die Lage der sechs Punkte zu einander vollständig bestimmt und dadurch unabhängig von Kurs und Fahrt eine Grundlage für die Aufnahme des Details der Küsten (durch die ausser diesen Hauptwinkeln gemessenen Winkel) und für die Stromberechnung (durch Vergleichung dieser Resultate mit den aus der Logrechnung erhaltenen) gewonnen. Wie dann im Anschluss an diese drei Landobjekte weitere durch Triangulation zu bestimmen sind, ergiebt sich ohne Weiteres.

Die Konstruktion der sechs Punkte geschieht nach der Methode von Vincendon-Dumoulin, der diese Aufgabe sehr ausführlich diskutirt hat,*) auf folgende Weise: *A*, *B*, *C* seien die Landobjekte, *I*, *II*, *III* die Schiffsorte.

1. Man nimmt die Entfernung *I A* nach Schätzung an und trägt diese nach der astronomisch bestimmten Richtung in die Karte ein. Die Linie *I A* ist die Basis für den Massstab der Karte.

Von *I* trägt man dann die beobachteten Winkel *A I B*, *A I C* an *I A* an.

2. Die Winkel *I A II* und *I A III* sind aus den beobachteten Azimuten der Richtungen *I A*, *II A*, *III A* bekannt.

Bezeichnet man diese Azimute α_I, α_{II}, α_{III}, so ist:

$$\angle I A II = \alpha_{II} - \alpha_I \text{ und } \angle I A III = \alpha_{III} - \alpha_I.$$

Hiernach sind von *A* die Richtungen *A II*, *A III* einzutragen.

Fig. 12.

3. Sobald der Punkt *II* auf der Linie *A II* bestimmt ist, kann die Aufgabe als gelöst betrachtet werden.

Den Punkt *II* findet man durch folgende Konstruktion:

Auf *I C* nimmt man einen beliebigen Ort C_1 als *C* an und trägt von da die bekannten Richtungen *C II*, *C III* ein. Von dem hieraus erhaltenen Schnittpunkt *III'* wird *III'* B_1 in der durch das Azimut bekannten Richtung *III B*, von B_1 darauf ebenso B_1 *II'* in der Richtung *B II* eingetragen.

*) In dem hydrographischen Theile von Dumont d'Urvilles Voyage au Pôle Sud et dans l'Océanie. Ein ausführlicher Aufsatz über dieses Problem erschien im Oktoberheft 1882 der Annalen der Hydrographie. Die indirekte Methode ist hier beibehalten, weil sie, obgleich an sich schwerfälliger, für die unmittelbare Eintragung in die Arbeitskarte einige Vortheile bietet.

Dann schneiden sich die Linien, welche von B_1 und C_1 in der Richtung $B\,II$ und $C\,II$ gezogen sind, in einem Punkte P.

4. Führt man dieselbe Konstruktion noch einmal durch, indem man von einem zweiten angenommenen Punkte C_2 auf der Linie $I\,C$ ausgeht, so erhält man einen zweiten Schnittpunkt P_1. Die gerade Verbindungslinie $P\,P_1$ ist geometrischer Ort für die Station II, also der Schnittpunkt $P\,P_1$ mit der Richtungslinie $A\,II$ ist der Punkt II.*) Fallen $A\,II$ und $P\,P_1$ der Richtung nach zusammen, so lässt sich die Aufgabe nicht lösen, und es muss eine andere Station hinzugenommen werden.

XI. Beispiele.

Im Folgenden werden einige Beispiele von Specialfällen aus veröffentlichten Vermessungsarbeiten gegeben werden.

1. Fitzroy giebt in dem Anhang zur Beschreibung der Erdumsegelung des Beagle**) einige Bemerkungen über das Verfahren bei der Küstenaufnahme von Feuerland, welchem der folgende Auszug entnommen ist, als anschauliches Beispiel einer laufenden Vermessung vom Schiff, unter Zugrundelegung von Theodolitstationen am Lande:

„Beginnend im äussersten Westen nahe Kap Pillar (weil die herrschenden Winde westlich sind und der Strom nach Osten setzt), war unsere erste Aufgabe, einen sicheren Hafen zu finden, um das Schiff darin unterzubringen. Dort wurden Beobachtungen angestellt für Breite, Zeit und Azimute, über die Gezeiten und den Magnetismus. Ferner wurde ein Plan des Hafens und seiner Umgebung angefertigt und eine Triangulation, welche alle sichtbaren Höhen einschloss, ebenso die bemerkenswertheren Umrisse der Küste, so weit sie von den Kuppen der höchsten Hügel nahe dem Hafen klar erkennbar waren. Auf diesen Höhen wurde ein guter Theodolit gebraucht, welcher stets auf eine gut kenntliche Marke nahe dem Observatorium eingestellt wurde. Von dieser Marke aus wurden mittelst eines Theodolits die wahren Azimute der Kuppen jener Hügel bestimmt durch Beobachtung der Sonne. Viele Meilen offener und schwer zugänglicher Küste wurden auf diese Weise anvisirt und wenigstens ihre genaue Peilung von einem bestimmten Punkte aus festgestellt. Wenn mehr als ein Höhenpunkt einen Satz von Theodolitenwinkeln gestattete, und der Ort jeder solchen Station genau bestimmt war durch Triangulation (welcher eine am Hafen gemessene Basis zu Grunde lag), dann wurden die Orte verschiedener anderer Höhen und Landmarken festgelegt;

*) Dass der Ort für die Punkte P eine gerade Linie ist, folgt aus der Betrachtung der ähnlichen Vierecke $B'\,P\,III'\,C'$, $B''\,P''\,III''\,C''$, deren drei Ecken B, III, C sich auf geraden Linien verschieben, weshalb auch die Verschiebung der vierten Ecke geradlinig erfolgen muss.

**) Narrative of the Surveying Voyages of his Majesty's ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836 etc. London 1839.

Fig 1

Fitzroy, Vermefsung an der Küste von Feuerland.

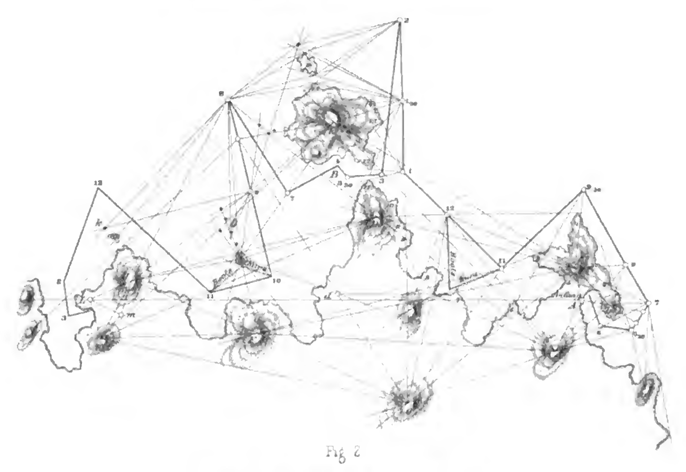
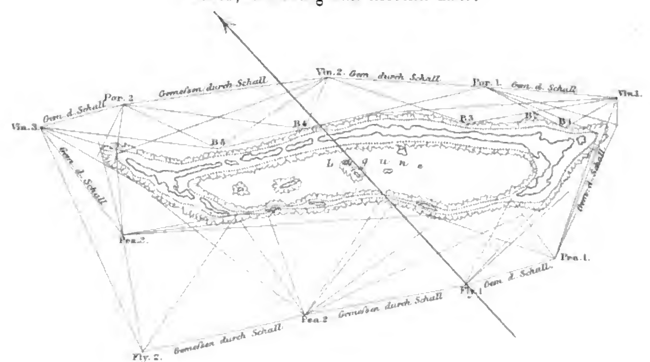


Fig 2

Wilkes, Vermefsung einer Korallen-Insel.



um so viel leichter wurde dann die Ausführung der vom Schiff aus nachher weiterzuführenden Arbeit.

„Nach Beendigung dieser Beobachtungen und Gangbestimmung der Chronometer wurde, sobald das Barometer begründete Hoffnung auf ein oder zwei Tage ohne Sturm gab, bei Tagesanbruch aufgebrochen. Die speciell mit der Aufnahme betrauten Offiziere waren vom regelmässigen Schiffsdienst frei. Einer war am Peilkompass und schrieb gewöhnlich die verschiedenen Peilungen und Winkel, welche von ihm und Anderen beobachtet wurden, in ein dazu bestimmtes Winkelbuch. Ein anderer Offizier nahm Winkel, ein dritter beaufsichtigte Kurs, Lothungen und Patentlog. Sobald viele Winkel zugleich zu messen waren, oder wenn Zeit-, Breiten- und Azimutbeobachtungen gleichzeitig mit einem Satz von Horizontalwinkeln nöthig wurden, nahmen andere Offiziere Theil.

„Beispielsweise hatte das Schiff den „Anfangshafen“ verlassen. Um 6 Uhr Morgens (mit 6 bezeichnet auf Skizze Tafel XXXI) wurde der Ort des Schiffes durch zwei oder mehr Winkel zwischen bereits bekannten Objekten bestimmt. Um 6 Uhr 30 Min. und 7 Uhr wurde die Position auf ähnliche Weise bestimmt. Lothungen wurden genommen und festgelegt nach dem Verhältniss der beobachteten Zeiten zwischen den beiden Stationen und dem durch Patentlog oder Peilungen bestimmten Wege. Deckpeilungen wurden stets aufgesucht, dieselben erwiesen sich besonders nützlich zur Bestimmung der Küstenlinie und bestätigten die Richtigkeit der Triangulation, wenn sie auf Hauptpunkte bezogen werden konnten.

„Auf die im Anfangshafen gemessene Basis $A\,b$ bezogen sich der Plan dieses Hafens und die Bestimmung der Punkte B und C. Von den Höhen B und C waren mittelst des Theodoliten G, D, E, F eingeschnitten, ebenso eine Anzahl unwichtigerer Marken; bei jeder Rundmessung war man von A ausgegangen. Sobald die Breite von L und der Längenunterschied zwischen $A\,L$ genau bestimmt waren, war die lange und genaue Basis $A\,L$ bekannt. Mit dieser als Grundlage wurde die Aufnahme auf dem Papier entworfen, und wenn erforderlich wurden die früheren Bestimmungen von G, D, E, F hiernach korrigirt. Eine solche Korrektur war selten nöthig. Das Log diente nur dazu, Lothungen festzulegen und Richtung und Stärke des Stromes zu bestimmen. Landansichten, sowohl horizontale als vertikale, wurden häufig skizzirt. Wenn Boote zu Wasser gelassen werden konnten und genügende Beschäftigung für sie vorlag (z. B. bei elf am ersten Tage, bei zehn am zweiten Tage), so hingen sie nicht müssig in den Davits.“

2. Nach dem vorstehenden, im Wesentlichen auf astronomische Bestimmung der Endpunkte begründeten Verfahren wird das folgende Beispiel einer flüchtigen Vermessung von Wilkes von Interesse sein, welches den Schall zu Grunde legt und bei isolirt liegenden Inseln, namentlich wenn mehrere Schiffe zusammen arbeiten, eine schnelle Aufnahme gestattet:

Vermessung einer Korallen-Insel.*)

Bei Annäherung an die zu vermessende Insel wird ein Signal gegeben, sich zur Aufnahme derselben vorzubereiten. Sollen Boote zur Verwendung kommen, so wird zunächst die Zahl derselben und die Schiffe, welche sie abzusenden haben, bestimmt; schliesslich wird jedem Schiffe seine einzunehmende Position angewiesen. Nachdem die Schiffe den ihnen angewiesenen Ort erreicht haben, drehen sie bei, und die vorher abgesandten Boote, welche ungefähr um dieselbe Zeit an den ihnen angewiesenen Stationen am Rande der Riffe geankert haben, heissen die ihnen mitgegebenen Signale. Dasjenige Schiff, welches zuerst ein Geschütz abzufeuern hat, heisst ein Signal im Vortop, welches alle Schiffe beantworten. Dieses Signal wird in gleicher Weise vor jedem nachfolgenden Feuern geheisst. Das Feuern findet dann in schneller Aufeinanderfolge statt, und zugleich werden (alle Offiziere befinden sich zu diesem Zwecke an Deck) Winkel gemessen zwischen den anderen Schiffen und Objekten an Land, und zwar jeder Winkel von einem besonderen Beobachter nach Anweisung des ältesten Offiziers. Diese Winkel, in Verbindung mit denen, welche die Tangenten zur Bestimmung der Landgrenzen bilden, sind stets als zur Aufnahme einer Insel hinreichend befunden worden. Während dieser Operation bleibt die Flagge an der Gaffel geheisst, damit alle Winkel gleichzeitig gemessen werden. Unmittelbar vor oder nach Messung der Horizontalwinkel werden Sonnenhöhen zur Bestimmung der Zeit genommen und Winkel, aus welchen das Azimut eines oder des andern Objekts berechnet wird, gemessen. Gleichzeitig werden die Höhe und das Azimut des Mastes eines der Schiffe behufs Bestimmung der Position beobachtet.

Nachdem dies geschehen, verändert eines der Schiffe seine Station, während die anderen auf ihren Stationen bleiben, indem sie so manövriren, dass die Winkel zwischen den Objekten am Lande ihre Grösse nicht verändern. Nachdem die Boote inzwischen ihre Stationen auch verändert haben, werden dieselben Operationen wiederholt.

Die Tafel XXXI, Fig. 2 ist ein Beispiel dieser Operationen.**)

Durch die der Reihe nach vor sich gehende Aenderung der Stationen der verschiedenen Schiffe und Boote, welche so lange fortgesetzt wird, bis die Insel einmal umsegelt ist, wird eine Aufnahme derselben ausgeführt. Der Anschluss des Endpunktes an den Anfangspunkt der Arbeit wird durch eine aus Azimutwinkeln und Schall bestimmte Distanz, welche als Verifikationsbasis dient, nachgewiesen. Die schematisch eingetragenen Beobachtungen werden dann an das Flaggschiff abgeliefert, woselbst aus ihnen die Konturen der Insel berechnet und konstruirt werden.

---

*) Narrative of the United States exploring expedition during the years 1838—1842 by Charles Wilkes, Commander of the expedition.

**) Die Abkürzungen beziehen sich auf die Namen der Schiffe Vincennes, Porpoise, Peacock, Fly.

Die Aufnahme der beistehenden Insel, welche ungefähr sieben Seemeilen lang ist, wurde auf diese Weise in 3 Stunden 35 Minuten bewerkstelligt. Die Arbeit begann $1^h\ 18^m$ und endigte nach den notirten Beobachtungen um $4^h\ 53^m$ p. m.

3. Für die Auslothung und Bestimmung einer Untiefe in grösserer Entfernung vom Lande ist die Vermessung der Untiefe Rochebonne, welche aus Sicht jedes Küstenpunktes liegt, nahe Rochefort, im Jahre 1824 durch Beautemps-Beaupré ein gutes Beispiel (nach Dubois, Cours de navigation et d'hydrographie):

„Um Rochebonne zu bestimmen, wurden Beobachter auf dem Thurm von St. Sauveur, der Insel Yeu, dem Thurm der Sables d'Olonne, den Leuchtthürmen des Baleines und Chassiron aufgestellt.

„Diese Beobachter hatten Anweisung, von zehn zu zehn Minuten Fahrzeuge anzuvisiren, welche sich so in Position legen mussten, dass sie ihrerseits ein Schiff, die Infatigable, peilen konnten, welches letztere auf dem Südostende der Untiefe verankert war und daselbst sieben Tage vor Anker blieb.

„Nachdem die Position der Infatigable bestimmt war, begab sich Beautemps-Beaupré mit der Brigg Alsacienne nach Rochebonne und nahm eine grosse Zahl Lootsen- und Fischerfahrzeuge dahin mit. Im Verlauf weniger Stunden wurde die ganze Aufnahme der Untiefe vollständig ausgeführt.

„Die Position für den östlichen hohen Felsen von Rochebonne wurde von derjenigen der Infatigable abgeleitet mittelst der Distanz, welche zwischen dem Ankerplatze dieses Schiffes und der Alsacienne bestimmt wurde.

„Als Grundlage für diese Bestimmung der Distanz nahm man die Masthöhe des ersteren Fahrzeuges.

„Ein Ingenieur war am Fusse des Mastes der Infatigable aufgestellt, Beautemps-Beaupré begab sich nach dem Fusse des Mastes der Alsacienne, und diese beiden Beobachter nahmen nun gleichzeitig die Winkelabstände zwischen dem andern und den lothenden Fahrzeugen jedesmal auf ein Signal von diesen letzteren. Die Ingenieure, welche lotheten, beobachteten ebenfalls jedesmal, wenn ein Signal gezeigt wurde, den Winkel, unter welchem sie die beiden Masten erblickten, von denen sie anvisirt wurden."

XII. Nachträgliche Konstruktion des Kartennetzes für die Arbeitskarte.

Wenn die Triangulation von einer langen, über die Karte gesteckten Grundlinie aus ohne Netz eingetragen ist, so wird sich die gnomonische Projektion am besten eignen, die nachträgliche Auftragung eines Kartennetzes vorzunehmen. In der Regel wird dies allerdings erst nöthig, wenn mehrere solcher Aufnahmen, wie sie im Eingange dieser Uebersicht ins Auge gefasst, aneinander gereiht werden.

Die Konstruktion geht davon aus, dass zwei in die Karte einzutragende Punkte, die sich diagonal in der grössten Ausdehnung der Karte von einander befinden, nach Länge und Breite bekannt sind. Ihre Entfernung in Metern und das mittlere Azimut zwischen beiden ist damit auch bekannt. Beide Punkte geben also ihre Lage nach Massstab und Orientirung des Kartennetzes, welches entworfen werden soll. Nach VI, S. 420 wird sodann die jedem Punkt entsprechende Konvergenz der Meridiane berechnet, der jedem der beiden Punkte entsprechende Meridian wird eingetragen, indem der Winkel: Mittleres Azimut $\mp$ halbe Konvergenz an die Verbindungslinie angelegt wird.

Auf diesen beiden Meridianen und rechtwinklig zu ihnen nach den Rändern der Karte zu setzt man dann zunächst die Breiten- und Längendifferenz ab zu der nächsten Einheit, in welcher das Netz gezeichnet werden soll, also z. B. zu den nächsten vollen Fünfminutenlinien. Durch diese werden dann genau genug Parallelen zu den vorher kon-

Fig. 13.

struirten Meridianen gezogen. Diese beiden Punkte und ihre Meridiane bilden dann den Ausgangspunkt für die folgende Korrektion:

In beiden Punkten werden Senkrechte auf die zugehörigen Meridiane errichtet, und an dieselben die entsprechenden halben Meridiankonvergenzen abgetragen. Diese Winkel ergeben dann zwei parallele Horizontal-Linien, welche mit den Meridianen ein gleichseitiges Trapez bilden. (Siehe Fig. 13.) Die normale Form des Trapezes ist eine Kontrole für die bisherige Konstruktion, und die Mittellinie dieses Trapezes giebt den mittleren Meridian der Karte. Diese beiden parallelen Seiten des Trapezes werden in so viel gleiche Theile getheilt, als Zwischenmeridiane für das Netz ausgezogen werden sollen. Die letzteren werden durch Verbindung der Theilpunkte direkt erlangt.

Um die nach dem Pol zu gekrümmten Breitenparallele zu konstruiren, verfährt man weiter in folgender Art:

Die Winkel der halben Konvergenz werden in so viel gleiche Theile getheilt, als Meridiane gezogen sind (z. B. in Fig. 13 in fünf Theile). Der ausgezogene Schenkel eines jeden Theils giebt auf dem entsprechenden Meridian den Schnittpunkt des Breitenparallels.

Die Zwischenparallelen werden erhalten, indem die durch den oberen und unteren Parallel begrenzten Meridianstücke in so viel gleiche Theile getheilt werden, als Zwischenmeridiane ausgezogen werden sollen.

Die Konstruktion erfordert in ihrer praktischen Ausführung gute Instrumente und Geschick, da es sich meist um sehr kleine Winkel handelt.

Die hier gegebene Vorschrift ist aus dem bereits citirten Buch von Wharton, Hydrographical Surveying, entlehnt. Die Specialwerke von Wharton und Mayne (Kommandanten der wegen ihrer Arbeiten bekannten englischen Vermessungsfahrzeuge Sylvia und Nassau) enthalten eine Fülle praktischer Erfahrung über nautische Vermessungen, in Bezug auf welche beide Bücher allen dieses Fach behandelnden neueren Schriften voranzustellen sind.*) Bei dem gänzlichen Mangel deutscher Werke dieser Art muss daher auf diese Autoren betreffs weiterer Details verwiesen werden, während in Bezug auf reguläre Vermessungen am Lande die bekannten Werke von Bauernfeind und Jordan ausführliche Auskunft geben.

*) 1. Practical Notes on marine surveying and nautical astronomy. By Capt. Richard C. Mayne, R. N. London, Potter 1874.

2. Hydrographical Surveying. A description of the means and methods employed in constructing marine charts. By Capt. W. Wharton, R. N. London, J. Murray 1882.

Ein soeben erschienenes officielles Werk „Traité d'Hydrographie. Levé et constructions des cartes marines par A. Germain" behandelt in ausführlichster Weise Theorie und Praxis dieses Gegenstandes.

I.
Tabelle
zur
Verwandlung eines Abstandes in Metern a in Sekunden des Bogens a'' nach der Formel $a'' = a \frac{1}{N \sin 1''}$. (Vergl. S. 423.)

Breite	$\log \frac{1}{N \sin 1''}$	Breite	$\log \frac{1}{N \sin 1''}$	Breite	$\log \frac{1}{N \sin 1''}$
°		°		°	
0	8.509 782	30	8.509 419	60	8.508 692
1	781	31	401	61	670
2	780	32	374	62	649
3	778	33	352	63	627
4	775	34	328	64	608
5	771	35	305	65	588
6	766	36	281	66	569
7	760	37	257	67	550
8	754	38	233	68	532
9	746	39	207	69	515
10	738	40	182	70	498
11	729	41	157	71	482
12	719	42	132	72	467
13	708	43	107	73	452
14	697	44	081	74	438
15	684	45	056	75	425
16	671	46	030	76	413
17	658	47	005	77	401
18	643	48	8.508 980	78	391
19	628	49	955	79	381
20	612	50	930	80	371
21	595	51	905	81	363
22	578	52	880	82	356
23	560	53	855	83	349
24	542	54	831	84	343
25	523	55	807	85	339
26	503	56	783	86	335
27	483	57	760	87	332
28	462	58	737	88	329
29	441	59	714	89	328

II.
Hülfstabelle für Küstenaufnahme mittelst Depressionswinkeln.*)

B	A	Diff.	B	A	Diff.	B	A	Diff.
0,000	— ∞		0,050	9.64373	355	0,100	9,75710	142
1	8,83106	14952	51	9,64728	347	101	9.75852	140
2	8.98058	8714	52	9,65075	340	102	9,75992	138
3	9.06772	6193	53	9.65415	331	103	9,76130	136
4	9,12965	4770	54	9.65746	324	104	9.76266	133
5	9.17735	3886	55	9,66070	316	105	9,76399	132
6	9.21621	3269	56	9,66386	311	106	9,76531	130
7	9,24890	2829	57	9,66697	303	107	9,76661	129
8	9,27719	2482	58	9.67000	296	108	9,76790	126
9	9.30201	2213	59	9,67296	291	109	9,76916	124
0.010	9,32414	1993	0.060	9,67587	284	0,110	9.77040	123
11	9.34407	1815	61	9,67871	279	111	9,77163	120
12	9,36222	1663	62	9,68150	273	112	9,77283	119
13	9.37885	1535	63	9,68423	268	113	9,77402	118
14	9,39420	1422	64	9,68691	262	114	9,77520	116
15	9.40842	1328	65	9,68953	257	115	9,77636	114
16	9,42170	1241	66	9,69210	253	116	9,77750	112
17	9,43411	1167	67	9,69463	247	117	9,77862	111
18	9,44578	1099	68	9,69710	243	118	9,77973	110
19	9.45677	1039	69	9.69953	238	119	9,78083	107
0.020	9.46716	984	0,070	9.70191	233	0,120	9,78190	107
21	9'47700	935	71	9.70424	230	121	9,78297	105
22	9,48635	891	72	9.70654	225	122	9.78402	103
23	9,49526	850	73	9.70879	221	123	9,78505	102
24	9,50376	812	74	9.71100	216	124	9,78607	101
25	9,51188	776	75	9,71317	214	125	9,78708	99
26	9.51964	745	76	9,71531	209	126	9,78807	98
27	9.52709	714	77	9.71740	206	127	9,78905	96
28	9.53423	688	78	9,71946	203	128	9,79001	95
29	9.54111	661	79	9.72149	198	129	9,79096	94
0.030	9.54772	637	0,080	9.72347	196	0,130	9,79190	93
31	9.55409	616	81	9.72543	192	131	9,79283	91
32	9,56025	593	82	9,72735	189	132	9,79374	91
33	9,56618	573	83	9,72924	186	133	9,79465	89
34	9.57191	556	84	9,73110	183	134	9,79554	87
35	9.57747	537	85	9.73293	179	135	9,79641	87
36	9.58284	522	86	9.73472	178	136	9,79728	85
37	9.58806	503	87	9,73650	174	137	9,79813	85
38	9.59309	489	88	9,73824	171	138	9,79898	83
39	9.59798	475	89	9.73995	168	139	9,79981	82
0,040	9.60273	461	0,090	9.74163	166	0,140	9,80063	81
41	9.60734	449	91	9.74329	163	141	9,80144	79
42	9.61183	436	92	9.74492	161	142	9,80223	79
43	9.61619	426	93	9,74653	158	143	9,80302	78
44	9.62045	413	94	9,74811	156	144	9,80380	76
45	9,62458	402	95	9.74967	153	145	9,80456	76
46	9.62860	392	96	9.75120	151	146	9,80532	75
47	9.63252	383	97	9.75271	149	147	9,80607	73
48	9,63635	374	98	9,75420	146	148	9,80680	73
49	9.64009	364	99	9.75566	144	149	9,80753	72
0,050	9.64373		0,100	9.75710		0,150	9,80825	

*) Vergl. Seite 424.

II.
Hülfstabelle für Küstenaufnahme mittelst Depressionswinkeln.*)

B	A	Diff.	B	A	Diff.	B	A	Diff.
0,150	9,80825	70	0,200	9,834053	352	0,250	9,846083	142
151	9,80895	70	201	9,834405	347	251	9,846225	137
152	9,80965	69	202	9,834752	342	252	9,846362	134
153	9,81034	68	203	9,835094	337	253	8,846496	130
154	9,81102	67	204	9,835431	331	254	9,846626	127
155	9,81169	66	205	9,835762	327	255	9,846753	124
156	9,81235	65	206	9,836089	320	256	9,846877	123
157	9,81300	65	207	9,836409	317	257	9,847000	117
158	9,81365	63	208	9 836726	311	258	9,847117	115
159	9,81428	63	209	9,837037	307	259	9,847232	111
0,160	9,81491	62	0,210	9,837344	302	0,260	9,847343	108
161	9,81553	61	211	9,837646	297	261	9,847451	105
162	9,81614	60	212	9,837943	292	262	9,847556	102
163	9,81674	59	213	9,838235	287	263	9,847658	99
164	9,81733	59	214	9,838522	282	264	9,847757	96
165	9,81792	58	215	9,838804	279	265	9,847853	94
166	9,81850	57	216	9,839083	274	266	9,847947	91
167	9,81907	56	217	9,839357	269	267	9,848038	87
168	9,81963	55	218	9,839626	264	268	9,848125	84
169	9,82018	55	219	9,839890	261	269	9,848209	82
0,170	9,82073	54	0,220	9,840151	256	0,270	9,848291	79
171	9,82127	53	221	9,840407	251	271	9,848370	75
172	9,82180	53	222	9,840658	247	272	9,848445	73
173	9,82233	52	223	9,840905	243	273	9,848518	70
174	9,82285	51	224	9,841148	238	274	9,848588	68
175	9,82336	50	225	9,841386	236	275	9,848656	64
176	9,82386	50	226	9,841622	230	276	9,848720	61
177	9,82436	49	227	9,841852	227	277	9,848781	59
178	9,82485	49	228	9,842079	221	278	9,848840	56
179	9,82534	47	229	9,842301	217	279	9,848896	54
0,180	9,82581	47	0,230	9,842518	214	0,280	9,848950	51
181	9,82628	46	231	9,842732	210	281	9,849001	48
182	9,82674	46	232	9,842942	207	282	9,849049	46
183	9,82720	46	233	9,843149	202	283	9,849095	43
184	9,82766	44	234	9,843351	198	284	9,849138	40
185	9,82810	44	235	9,843549	195	285	9,849178	37
186	9,82854	43	236	9,843744	191	286	9,849215	35
187	9,82897	42	237	9,843935	187	287	9,849250	34
188	9,82939	43	238	9,844122	184	288	9,849284	30
189	9,82982	41	239	9,844306	179	289	9,849314	27
0,190	9,83023	41	0,240	9,844485	176	0,290	9,849341	25
191	9,83064	40	241	9,844661	172	291	9,849366	24
192	9,83104	40	242	9,844833	168	292	9,849390	20
193	9,83144	39	243	9,845001	165	293	9,849410	17
194	9,83183	38	244	9,845166	162	294	9,849427	15
195	9,83221	38	245	9,845328	157	295	9,849442	14
196	9,83259	37	246	9,845485	156	296	9,849456	11
197,	9,83296	37	247	9,845641	150	297	9,849467	8
198	9,83333	37	248	9,845791	148	298	9,849475	6
199	9,83370	35	249	9,845939	144	299	9,849481	3
0,200	9,83405		0,250	9,846083		0,300	9,849484	

*) Vergl. Seite 424.

Namen- und Sachverzeichniss.

Seite

A.

Ablenkungsmethode, Bestimmung der magnetischen Kraft 205
Ablesung, mikroskopische 30
Ablesungsvorrichtungen 27
Abstandsbestimmungen, mikrometrische 356
— Tabellen 360
— Peilscheibe für 47
Achromatische Linsen 11
Aequivalente Linsen 14
Aimé, Stromrichtungsanzeiger von . 156
Akkumulator zum Lothen 129
Amsler-Laffon, hydrometrischer Flügel von 159
Anemometer 96
— Aufstellung an Bord 103
Aneroidbarometer 64
Anhang: Gelegentliche Vermessungen 403
Anstellung von Durchgangsbeobachtungen 387
Aplanatische Linsen 10
Apparate und Instrumente für oceanische Beobachtungen 115
— Nachtrag: Fahrtmesser von Strangmeyer 396
— zur Bestimmung der Stromrichtung und Geschwindigkeit 154
— zum Wasserschöpfen 178
Aräometer 184
Arbeitskarte, siehe gelegentliche Vermessungen 441
Arwidson, Strommesser von . . . 161
Astronomisches Fernrohr 4
Astronomische Ortsbestimmung der Endpunkte einer Basis 415
Aufnahme der Küstenlinie durch Messung von Depressionswinkeln 424
Aufnahme von Vertonungen . . . 429

Seite

Ausdehnung der Luft durch die Wärme. Tabelle 110
Axenfehler des Universal-Instrumentes 386
Azimut der langen Grundlinie, Konvergenz der Meridiane 420
Azimutfehler bei Durchgangsbeobachtungen 392
Azimutkompass 216
Azimutspiegel des Thompsonschen Kompasses 221

B.

Bailies Tiefloth 127
Bambergsche Libelle 37
— Lothmaschine mit Tiefenmesser . 149
Barometer 50
— Vergleichung derselben untereinander 63
Barometerstände, Reduktion auf 0° Temperatur. Tabelle 108
Barometrische Höhenmessung . . . 76
Basismessungen 411
Basisübertragung 418
Beauforts Stärkeskala des Windes . 97
Behandlung der Fernrohre beim Gebrauch 25
— der Kompassrosen und Pinnen . 236
Beispiele für die Anwendung des Foxschen Apparats 283
— für Vermessungsarbeiten . . . 438
Belknap-Sigsbees Loth 126
Beobachtungen mit dem Deviationsmagnetometer 242
— mit dem Universal-Instrument . 387
— von Winkeln zwischen nahen Objekten 330
Bertrams Heliotrop 46
Bestimmungen der erdmagnetischen Elemente 244

Seite

Bestimmungen der Fadenabstände . 314
— der Feuchtigkeit der Luft . . . 89
— des Gesichtsfeldes 23
— des Indexfehlers 329
— der Richtung des Meridians . . 381
— der Tiefe aus dem Druck des Wassers 141
— von λ aus Beobachtungen mit der Horizontalnadel 245
— von μ aus Beobachtungen mit der Vertikalnadel 247
Bootskompass 223
Bourdon, Metallbarometer 65
Brennweite der Linse 3
Buchanan, Wasserschöpfer 180

C.

Celsius-Thermometerskalen, verglichen mit Fahrenheit. Tabelle . . . 114
Centrirung der Fernrohrgläser . . 22

D.

Dampfspannung und relative Feuchtigkeit 89
Decklog von Haecke 167
— von Massey 165
Deflektor von Sir W. Thomson . . 258
Deklination der Magnetnadel, Bestimmung derselben 274
Deklinatorium 272
Deutlichkeit und Schärfe des Bildes beim Fernrohr 9
Deviationsmagnetometer 238
Diopter 26
Dioptrik, Grundgesetze derselben . 1
Direkte Messung einer kleinen Basis 412
Distanzmesser nach Schaub . . . 354
Distanzmessung mittelst des Sextanten 331
Dosenhorizont 43
Dosenlibelle 35
Drahtlothmaschine 131
Durchgangsbeobachtungen mit dem Universal-Instrument 387

E.

Eckmann, Wasserschöpfer 182
Einfache Lothe 123
Einfluss der Fehler auf die Winkelmessung 310

Seite

Empfindlichkeit der Kompasse . . 195
Entfernungsbestimmung, Basismessung 411
Ermittelung der Spiegelfelder . . . 320
Erdmagnetische Elemente, Bestimmung derselben mittelst des Deviationsmagnetometers 244
Entwurf der Arbeitskarte 421
Ermittelung der Tiefe 133
Excentricität des Sextanten . . . 321
— des Theodoliten-Fernrohrs . . 367
— des Horizontalkreises 368

F.

Fadenabstände, Bestimmung derselben bei Anstellung von Durchgangsbeobachtungen 387
Fadenkreuz des astr. Fernrohrs . . 16
Fadennetz des astr. Fernrohrs . . 18
Fahrenheit-Thermometerskala, verglichen mit Celsius. Tabelle . 114
Fahrtmesser von Strangmeyer . . 396
Fernrohr, astronomisches 4
— Behandlung derselben beim Gebrauch 25
— Galileisches 19
— Mikrometer- 352
— Prüfung 21
— terrestrisches 19
— Vergleich der optischen Eigenschaften des astronomischen und Galileischen 23
Feuchtigkeit der Luft 89
Fluidkompass, grosser 216
— kleiner 219
Fortins Reisebarometer 59
Foxscher Apparat zur Bestimmung der Inklination und Intensität an Bord 275
— Reduktionskonstanten 287
Fuess, Gefässheberbarometer . . . 56

G.

Galileisches Fernrohr 19
Gefässheberbarometer von R. Fuess 56
Geodätisches Universal-Instrument . 374
Geschwindigkeitsmesser mit nachgeschleppter Schraube (Decklog) 163
— von Strangmeyer 396
Gesichtsfeld des astr. Fernrohrs . . 8
— Bestimmung desselben 23

Seite

Gläser, Prüfung der farbigen beim Spiegel-Instrument 321
Glashorizont 44
Goldschmids Aneroidbarometer . . 72
Graphische Darstellung der Reihentemperaturen 177
Grundbeschaffenheit (gelegentliche Vermessungen) 434
Grundgesetz der Dioptrik 1
— der Spiegelung 298
Grundlinie, Azimut der langen . . 420
— Berechnung der langen . . . 419

H.

Haarhygrometer 93
Haecke, Decklog 167
Hängekompass 224
Hagemanns Anemometer 99
Heberbarometer 53
Heliotrop 44
Helligkeit des Fernrohrs 7
Höhenkreis 379
Höhenmessung, barometrische . . . 76
— Interpolationsmethoden bei denselben 78
— Tabellen 111
Horizonte, künstliche 41
Horizontalnadel 236
Horizontalwinkelmessung 363
Horizontirvorrichtungen 35
Hülfsinstrumente 41
Huyghensches Okular 13
Hydrometrischer Flügel von Amsler-Laffon 159
Hygrometer von Regnault 94
Hypsometer 75

I.

Indexfehler, Bestimmung derselben 329
Inklination, Bestimmung derselben mit dem Foxschen Apparat . . 275
Instruktion für den Gebrauch der Bambergschen Lothmaschine . . 152
Intensität, Bestimmung derselben mit dem Foxschen Apparat . . . 275
— der Sonnen- und nächtlichen Strahlung 86
Intensitätsmultiplikator von Peichl . 269
Interpolationsmethode für die barometrische Höhenmessung . . . 78

Seite

K.

Kapacitätskorrektion des Barometers 54
Kapillaritätskorrektion 52
Karte, Entwurf derselben 421
Kollimationsaxe des Fernrohrs . . 17
Kollimationsfehler des Universal-Instruments 391
Kompass, Sir William Thomsonscher 219
Kompasse 194
— Beschreibung derselben . . . 209
— Kompensirung derselben . . . 227
— Theorie 194
— Vorschriften für Prüfung derselben 230
Kompasshaus mit verstellbaren Magnetträgern und transparenter Peilscheibe 225
Kompassregulirung ohne vorhergegangene Deviationsbestimmung, Instrumente 257
Kompassrose, Stabilität derselben . 199
Kompensirte Aneroidbarometer (Naudet) 71
Konstanten des Aneroidbarometers . 67
Kontrolkompass von Peichl . . . 262
Konvergenz der Meridiane 420
Korrektion der Aneroid-Ablesungen 66
— der sphärischen Abweichung beim Fernrohr 21
Korrektur der Spiegel- und Fernrohrneigung 312
Küstenumrisse 425

L.

λ, Bestimmung desselben aus Beobachtungen mit der Horizontalnadel 245
Libelle 35
— Dosenlibelle 35
— Röhrenlibelle 36
— Reichelsche 36
— Bambergsche 37
Limbus mit Elfenbeintheilung . . 335
Linsen 10
Logs 163
Lothdraht 120
Lothe, einfache 123
— mit Auslösevorrichtungen . . . 125
— und Lothleinen, Theorie . . . 115
— von Bailie 127
— von Belknap-Sigsbee 126

Seite

Lothen in grossen Tiefen mit der Leine 128
Lothmaschine, ältere Konstruktion von Sir William Thomson . . 143
— Bambergsche mit Tiefenmesser . 149
— Instruktion für den Gebrauch derselben 152
— verbesserte von Sir William Thomson 147
— verbesserte von Sigsbee . . . 137
Lothungen bei gelegentlichen Vermessungen 430
Luft, relative Feuchtigkeit derselben 89
Lupe 27

M.

Magnetische Instrumente 236
— Kraft, Bestimmung 201
— Kraft der Kompassrose . . . 200
Magnetischer Meridian, Bestimmung der Richtung desselben mit Hülfe des Foxschen Apparates . . . 284
— mit Hülfe des Universal-Instruments 381
Magnetträger, verstellbare im Peilkompasshaus 225
Manövriren beim Schleppen . . . 187
Marinebarometer 61
Masseys älteres Log 164
— Decklog 165
— Stromgeschwindigkeitsmesser . . 166
— Tiefenindikator 139
Maximum- und Minimumthermometer 84
Meridian, Bestimmung der Richtung desselben 294. 381
Meridiane, Konvergenz derselben . 420
Messung der Basis durch den Schall 414
— der Neigung mit Hülfe der Libelle 38
— der Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen 168
Metallbarometer von Bourdon . . 65
Metallthermometer 87
Meteorologische Tabellen 107
— Instrumente 50
Meyer, Wasserschöpfer 179
μ, Bestimmung aus Beobachtungen mit der Vertikalnadel 247
Mikrometerfernrohr für Abstandsbestimmungen von Rochon . . 352
Mikrometermessung der Basis . . 413
Mikrometerfernrohr mit durchschnittenem Objektiv 354
Mikrometrische Abstandsbestimmungen 356
— Tabellen 360
Mikroskop 31
Mikroskopische Ablesung 32
Millers Tiefseethermometer . . . 171
Millimeterverwandlung in englische Zoll und umgekehrt. Tabelle . 107

N.

Nachtrag zum III. Abschnitt . . . 396
Naudets baromètre holostérique . . 64
— kompensirte Metallbarometer . . 71
Negretti und Zambras Tiefseethermometer 174
Neigung, Messung derselben mit der Libelle 38
— Bestimmung derselben bei Anstellung von Durchgangsbeobachtungen 391
Niveau 35
Nonius 28
Normalkompass 209

O.

Oceanische Beobachtungen, Apparate 115
—, Tabellen 190
Objektiv des Fernrohrs 12
Oktant 300
— abweichende Konstruktion einzelner Theile 335
— mit Registrirtrommel 336
Optische Eigenschaften. Vergleich derjenigen der astronomischen und Galileischen Fernrohre . . 23
Ortsbestimmung, astronomische, der Endpunkte einer Basis 415

P.

Patentlogs 163
Peichls Instrumente 262. 269
Peilapparat des Normalkompasses . 212
Peilkompasshaus mit verstellbaren Magnetträgern und transparenter Peilscheibe 225
Peilscheibe für Abstandsbestimmungen 47
Pistor und Martins, Reflexionskreis 344
Positionsbestimmungen der Lothungen 431
Prismatische Gestalt der Spiegelgläser 317
Prismen-Instrumente, Theorie . . . 342

Seite

Prismenkreis 344
Prismenkreuz 350
Prüfung der farbigen Gläser des Sextanten 321
— der Fernrohre 21
— der Kompasse 230
— der Spiegel und Fernrohre beim Sextanten 312
Prüfungsresultate bei Aneroidbarometern. Tabelle 71
Prüfung und Berichtigung der Axenfehler des Universal-Instruments 376
— und Korrektur der Prismenkreise 349
Psychrometer 91
— Tabelle 112

Q.

Quecksilber-Barometer 53
— Schwerekorrektions-Tabelle . . 109
— Horizonte 42

R.

Ramsdensches Okular 14
Reduktion der Beobachtungen mit dem Foxschen Apparat . . . 296
— der Lothungen 433
Reflexionskreise 340
Reflexionskreis von Pistor und Martins 344
Regenmesser 104
Registrirtrommel, Oktant mit . . . 336
Rekognoscirung. Gelegentliche Vermessungen 406
Regnaults Hygrometer 94
Reichelsche Libelle 36
Reihentemperaturen, graphische Darstellung 177
Relative Feuchtigkeit der Luft . . 89
Reparatur an Spiegel-Instrumenten 332
Robinsons Schalenanemometer . . 101
Rochon, Doppelbild-Mikrometer . . 353
Röhrenlibelle 36

S.

Sammellinsen 1
Schalenanemometer von Robinson . 101
Schall, Messung zur Entfernung durch den Schall 414
Schleppen, Manövriren beim . . . 187
Schleppnetze und Schleppkäscher . 188
Schleppsäcke und Schleppleinen . . 186

Seite

Schleuderthermometer 84
Schwerekorrektion des Quecksilberbarometers 74
— Tabelle 109
Sextant 304
— als Heliotrop 46
— für Nachtbeobachtungen . . . 338
— mit Niveau 339
Sextantenwinkel, Reduktion desselben auf den Horizont 334
—, Tabelle zu dieser Reduktion . 358
Sigsbees Loth 126
— verbesserte Lothmaschine . . . 137
— Wasserschöpfer 180
Spiegelgläser, prismatische Gestalt . 317
Spiegel-Instrumente, Reparatur derselben 332
Spiegelung, Gesetze 298
Steinheil, Heliotrop 44
Steuerkompass 216
Strangmeyers Fahrtmesser 396
Stromgeschwindigkeitsmesser von Amsler und Laffon 159
— von Arwidson 161
— von Massey 166
Stromrichtungsanzeiger von Aimé . 156
Stromrichtung und Geschwindigkeit, Apparate zur Bestimmung derselben 154

T.

Temperaturkorrektion des Barometers 51
— Tabelle 108
Terrestrisches Fernrohr 19
Terrestrische Winkelmessung . . . 333
Thaupunkt 91
Theodolite und Universal-Instrumente 363
Thermobarometer 75
Thermometer 81
— Prüfung derselben 82
— zur Bestimmung der Intensität der Sonnenstrahlen und der nächtlichen Strahlung 86
— mit Hartgummihülle 169
— Tiefsee- 171
Thermometerskalen, Vergleichung derselben 114
Thomsons, Sir William, Deflektor 258
— Kompass 219
— Lothmaschinen 143. 147
— Vertikal-Instrumente 248

Seite

Tiefenbestimmung aus dem Druck des Wassers 141
Tiefenindikator von Massey . . . 139
Tiefenmesser von Bamberg . . . 151
Tiefloth von Bailie 127
Tieflothleinen 117
Tiefseethermometer von Miller . . 171
— von Negretti und Zambra . . . 174
Triangulation 408
Troghorizont 42

U.

Uebertragung einer Basis 418
Universal-Instrument, astronomisches, kleines 372
— geodätisches 374

V.

Verdunstungsmesser 106
Vergleich der optischen Eigenschaften der Galileischen und astronomischen Fernrohre 23
Vergrösserung des Fernrohrs . . . 5
— Bestimmung derselben 22
Vermessungen, gelegentliche . . . 403
Vermessung in Bewegung 435
Vertikal-Instrument von Sir William Thomson 248
Vertonungen, Aufnahme derselben . 429
Vorbereitungen für gelegentliche Vermessungen 405
Vorschrift über die Prüfung der Kompasse 230

W.

Walkers Log 164
Wasserschöpfapparate 178
Wassertemperaturmessung in verschiedenen Tiefen 168
Wild, Winddrucktafel 97
Windfahne mit Windstärkemesser . 97
Windgeschwindigkeit 99
Windstärkeskala nach Beaufort . . 97
Winkel-Instrumente ohne Stativ . . 298
Winkelmessung, terrestrische mittelst Reflexions-Instrumente 333
Winkel zwischen nahen Objekten, Beobachtung mit dem Sextanten 330
Woltmannscher Flügel 158

Z.

Zerstreuungslinsen 1
Zugmessung 416

Berichtigungen.

Seite		Zeile		von		lies		statt
Seite	41	Zeile	14	von	oben	lies	36' 20"	statt	12' 20".
„	46	„	1	„	„	„	durch	„	von.
„	60	„	5	„	„	„	Höhe	„	Röhre.
„	60	„	6	„	„	„	Röhre	„	Höhe.
„	71	„	5	„	unten	„	Doppelklammer	„	Doppelkammer.
„	80	„	19	„	„	„	diese Zeiten	„	die Zeiten.
„	83	„	8	„	oben	„	Dilationsnachwirkungen	„	Dilatationsnachwirkungen.
„	97	„	8	„	„	„	Sekunde	„	Stunde.
„	117	„	9	„	„	„	1030	„	1013.
„	158	„	10	„	„	„	das	„	des.
„	216	„	17	„	unten	„	denen	„	den.
„	227	„	12	„	„	„	Röhre	„	Röhren.
„	228	„	9	„	„	„	+ 2,1°	„	+ 2.1°.
„	228	„	10	„	„	„	+ 2.76°	„	+ 2,76°.
„	279	„	14	„	„	„	radial	„	radikal.

Gedruckt in der Königlichen Hofbuchdruckerei von E. S. Mittler & Sohn,
Berlin SW, Kochstrasse 68—70.



